

169.184.244.66:669.184.235.4

記す)

5.1 酸素濃度に関する式

ジェット軸上

$$u_{max}/U_0 = (D_0/X) \cdot (1/2C) \dots\dots\dots (5)$$

鋼浴面での平均値

$$Q_0/Q = (U_0 \cdot A_0) / \int_0^\infty \bar{u} \cdot dA$$

$$= (D_0/X) \cdot (1/4C) \dots\dots\dots (15)$$

5.2 流速に関する式

$$u_{max} = (D_0/X) \cdot (1/2C) \cdot U_0 \dots\dots\dots (5')$$

$$\bar{u} = (1/2C^2) \cdot (D_0/X) \cdot \exp$$

$$[-(1/2C^2) \cdot (Y^2/X^2)] \cdot U_0 \dots\dots\dots (7')$$

$$U_0 = \sqrt{(\gamma+1)/(\gamma-1) \cdot \{1 - (P_0/P)(\gamma-1)/\gamma\}^{1/2} \cdot a^*} \dots\dots\dots (3)$$

5.3 吹きつけ動圧に関する式

$$\text{動圧} = (\gamma/2g) \cdot (\bar{u})^2 \dots\dots\dots (16)$$

6. 総 括

前報で求めた初期条件にもとづいて、ノズルから噴出する酸素ジェットの構造を理論検討と実測値にもとづいて解明した。すなわちジェット内部の流速分布とともに、今回初めて酸素濃度分布の数式化をおこなった。

文 献

- 1) H. ROUSE: Advanced Mechanics of Fluid, (1959), p. 359 [Wiley]
- 2) A. F. DONOVAN & H. R. LAWRENCE: Aerodynamic Component of Aircraft at high Speed, (1957), p. 649 [Princeton]

(52) 純酸素転炉における吹錬試験の実施

(純酸素転炉における反応機構の解析—Ⅲ)

日本鋼管, 技術研究所

川上 公成・○藤井 隆

On the Operation of Blowing Tests in Basic Oxygen Converter.

(On the kinetics of the blowing reactions in basic oxygen converter—Ⅲ)

Kiminari KAWAKAMI and Takashi FUJII.

1. 緒 言

第1報および第2報では純酸素転炉における吹錬用酸素ジェットの特性について理論的な解析を行なった。その結果ジェットの特性についていろいろの事実が明らかになった。このため当研究所の 10 t/ch 試験転炉において酸素吹きつけ条件を大巾に変更させた吹錬試験を実施し、吹きつけ条件の変化による純酸素転炉の吹錬反応について研究したので以下に報告する。

2. 実 験 計 画

試験は実験計画法  $L_{32}(2^{31})$  型直交表に各要因、水準を割りつけ計 32 チャージ行なつた。要因は酸素ジェット・スピードを主体に Table 1 に示すようなものを用いた。なお他の主要因は Table 2 に示すごとく装入量にスライドさせて一定とした。

Table 1. Factors and level.

Factor	Level	1	2	3	4
A. Charging tonnage (t/ch)		9.9	13.0	—	—
B. Dia. of nozzle (mm φ)		18.0	25.8	30.0	—
C. O <sub>2</sub> mass flow rate (Nm <sup>3</sup> /min·t)		2.1	2.8	—	—
D. Jet speed (kg/cm <sup>2</sup> )		0.05	0.30	0.70	1.20
E. V. P. [C%] (%×10 <sup>-2</sup> )		5~10	30~60	—	—
F. V. P. temperature (°C)		1600 ~1630	1680 ~1710	—	—

Table 2. Operating condition.

Materials	Pattern	No. 1 No. 2	
Charging tonnage (t/ch)		9.0	13.0
Pig ratio (%)		90.0	90.0
Burnt lime (CaO/SiO <sub>2</sub> =4.3) (kg/ch)		600	860
Fluor spar (kg/ch)		90	120
Scale (kg/ch)		200	300
Lance height and O <sub>2</sub> pressure		Constant level during blowing	

2.1 要因と水準

2.1.1 装入量 (t/ch)

吹錬反応機構におよぼす装入量、湯溜形状の影響を調査するため今回の試験では装入量に2水準を設けた。装入量 9 t, および 13 t は試験転炉炉容から決定した。

2.1.2 ノズル・スロート径 (D\*mm φ)

試験転炉におけるノズル・スロート径は次式で計算した。

吹錬用酸素量 (Nm<sup>3</sup>/min)

$$= \frac{(\text{銑鉄}[C\%] \times \text{銑鉄比} - \text{終点}[C\%]) \times 9.33}{\text{吹錬酸素の脱炭効率} \times \text{吹錬時間}}$$

$$\times \text{全装入量} = \theta_T \cdot S \cdot P_0 \dots\dots\dots (1)$$

$\theta_T$ : 定数 (1.04 Nm<sup>3</sup>/kg·min, 300°K),  $S^*$ : ノズル断面積 (cm<sup>2</sup>),  $P_0$ : 貯気槽圧力 (kg/cm<sup>2</sup>) 標準操業では装入量 13 t, 吹錬時間 17 min, 脱炭効率 75%。銑鉄比 0.9 とし、ノズルスロート径 25.8 mm φ を用いているが、今回の試験ではその他に 18.0 mm φ, および 30.0 mm φ, ノズルを使用した。なおノズルはすべてダイバージェット・コンバージェットタイプのシングル・ノズルとした。

2.1.3 酸素供給量 (Nm<sup>3</sup>/min·t)

水準 1 の 2.1 Nm<sup>3</sup>/min·t は普通 LD 操業の値に近く、水準 2 の 2.8 Nm<sup>3</sup>/min·t は普通 LD 操業に比べ若干高い値である。要因 C の実操業水準は 2.1 Nm<sup>3</sup>/min·t, 2.8 Nm<sup>3</sup>/min·t と装入量に対し、(1) 式から各ノズルに対応する吹錬圧力を求め、この吹錬圧力を用いた。設定圧力を酸素供給量から決定したため各ノズル (固有の理想噴出圧力に適合しない値も実操業水準中に含まれた。これらの圧力はショック・ウェイブを発生し、吹錬上不利となることが予想される。

2.1.4 ジェット・スピード(m/secあるいはkg/cm<sup>2</sup>)  
 ジェット・スピードは鋼浴面上における動圧(3-2)式で示した。

$$\text{動圧 (kg/cm}^2\text{)} = (\gamma/2g) \cdot (u_{\max})^2 \dots\dots\dots (2)$$

$\gamma$ : 酸素密度 (kg/m<sup>3</sup>),  $g$ : 重力加速度 (m/sec<sup>2</sup>),  
 $u_{\max}$ : ジェット軸上酸素流速 (m/sec) ジェット・スピードの実操業水準はランス高さで示されるが、このランス高さは流速に関する(3)式から求めた。

$$u_{\max}/U_0 = (D_0/X) \cdot (1/2C) \dots\dots\dots (3)$$

$U_0$ : 酸素ジェット初速 (m/sec),  $D_0$ : ノズル出口径 (mm),  $X$ : ランス高さ (mm),  $C$ : 積分定数 =  $0.202/P_0$  ここで  $u_{\max}$  は各々の水準に設定された動圧から(3-2)式より求め、 $U_0$  は前記要因Cの酸素供給量で設定された吹錬圧力から求めた。ショック・ウェイブを発生する条件においては(3)式で示される理想状態の値より実際の  $u_{\max}$  値は少となり、その分ランスを低く設定しなければならないが、ここではショックウェイブを発生する条件の場合でも理想状態として扱った。

なお(3)式から明らかなように  $u_{\max}$  の値が一定であつても初速  $U_0$  の値いかんによつては  $X$  の値は変化することが示される。初速  $U_0$  は吹錬圧力によつて決定される値で、吹錬圧力の高いほど  $U_0$  は大となるため  $u_{\max}$  の値が一定でも吹錬圧力の低い場合の方が  $U_0$  は少となり、 $X$  の値も少となる。すなわち同一  $u_{\max}$  の値であつても吹錬圧力が少であればランス高さ  $X/D_0$  は少となり酸素濃度  $u_{\max}/U_0$  の値は大となる。今回の実験計画においても同一  $u_{\max}$  の値に対するいろいろの吹錬圧力が設定されているため  $u_{\max}/U_0$  の値はいろいろ異なつていく。この関係を Fig. 1 に示す。

2.1.5 終点 [C%] および 終点温度 (°C)

終点状況を示す要因として終点 [C%] および終点温度を選び各々2水準設けた。なお両要因を同時に目標に合せようとしたため若干のチャージは目標を外れたが、そのまま解析を進めた。

2.2 交互作用

ジェット・スピードと他の要因間の関係を主体に考え、

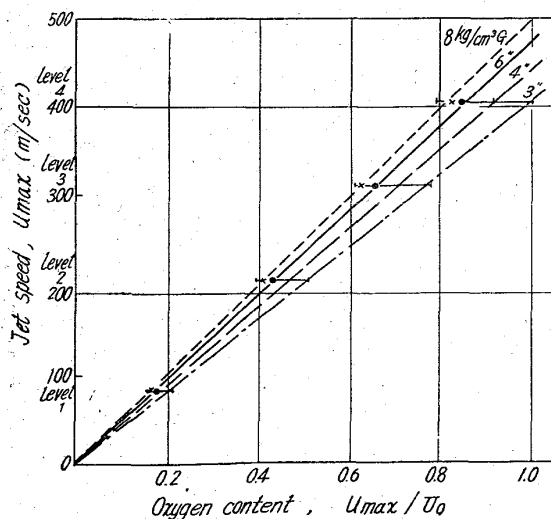


Fig. 1. Relation between oxygen content ( $u_{\max}/U_0$ ) and jet-speed ( $u_{\max}$ ).

交互作用としては  $A \times D$ ,  $B \times D$ ,  $C \times D$ ,  $D \times E$ , および  $D \times F$  を採用した。

2.3 特性値

特性値は測定可能なデータをすべて採用したが、ここでは大別して脱炭反応を第1グループ、鋼浴酸化状況を第2グループ、鋼中成分変化を第3グループとして解析を進めた。

3. 操業結果および考察

IBM 7070 による試験の解析結果を Table 3-a に示す。なお特性値の内容説明を Table 3-b に示す。表中一の項はF検定において有意でなかつたため誤差項にプールしたことを示している。ジェット・スピードは今回の試験で得られた特性値のうちほとんどの項目のLD転炉操業条件に対し、きわめて密接でしかも支配的な役割をはたしていることが示される。

第1グループの脱炭反応の項目では特性値である吹錬時間、脱炭速度に対し要因B, C, およびDとも高度に有意である。吹錬時間および脱炭速度と要因B, Dの関係を図に示すと Fig. 2 のごとくなる。この図は同一酸素ジェット・スピードにおいても、ノズル径の太くなるほど吹錬時間は短縮され、脱炭速度は大となることを示している。この理由について著者らは鋼浴面における酸素濃度の影響を考えた。すなわち前述のごとく鋼浴面における酸素ジェットの濃度を  $u_{\max}/U_0$  で表わせば、要因Dについては同一  $u_{\max}$  (あるいは動圧) においても  $u_{\max}/U_0$  値は  $U_0$  とともに異なつてくる。ここで  $U_0$  は吹錬圧力によつて決定され、同一酸素流量の場合

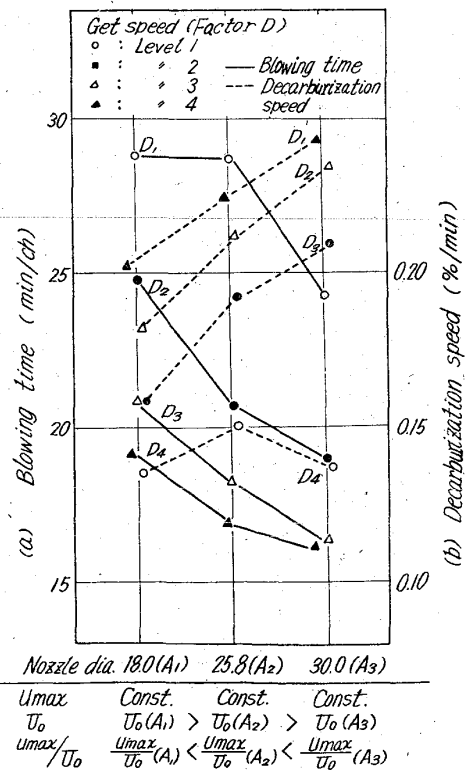


Fig. 2. Effect of jet speed and nozzle diameter on a) blowing time and, b) decarburization speed (oxygen content of nozzles were compared each other).

Table 3-a. Results of analysis of variance. (F-test)

Group	No.	Characteristic value	Factor							Interaction				$\varphi^2$	
			A	B	C	D	E	F	A × D	B × D	C × D	D × E	D × F		
1	1	Blowing time (min/ch)	—	26.3**	53.6**	28.6**	9.9*	—	—	—	—	—	—	—	23
	2	Decarburization speed (%/min)	2.85	7.2**	24.4**	24.5**	—	—	—	—	—	—	—	—	20
	3	Decarburization efficiency	5.37*	2.33	—	97.0**	—	4.13	—	—	—	—	—	—	23
	4	Total oxygen efficiency	1.85	—	—	22.2**	—	3.21	5.23**	—	—	—	6.46**	—	17
2	5	Slag volume (kg/t)	—	—	—	15.8**	—	15.8**	—	—	—	—	2.00	4.93**	21
	6	(ΣFe%)	—	—	—	31.9**	12.2**	—	—	—	—	—	—	—	27
	7	(MgO%)	—	5.54**	—	12.3**	—	—	9.85**	—	—	—	—	—	16
	8	Total yield (%)	—	—	—	46.2**	1.49	5.85	—	—	4.88*	—	5.11**	—	20
3	9	V. P. [Mn]	—	2.44	—	9.35**	38.4**	—	2.08	—	—	—	5.85**	—	18
	10	V. P. [P%]	3.44	1.82	3.88	—	18.7**	—	—	—	—	—	2.64**	2.98	19
	11	V. P. [S%]	8.80**	2.02	1.98	—	1.58	—	2.72	—	3.20	—	2.46	—	16
	12	V. P. [O%]	4.95*	2.52	—	—	30.5**	—	—	1.95	—	—	0.99	—	13
	13	Δ[O%]	1.70	—	0.96	1.73	—	3.29	—	—	—	—	—	—	25

\* 5% significant, \*\* 1% significant.

Table 3-b. Explanations of characteristic values.

Group	No.	Characteristic value	Unit	Expression of calculation
1	2	Blowing time	min-sec	—
	1	Decarburization speed	%/min	$\frac{\text{pig iron}[C\%] \times \text{pig ratio} - V. P. [C\%]}{\text{blowing time}}$
	3	Decarburization efficiency	—	$\frac{\text{oxygen input} + O_2 \text{ in oxides}}{\text{oxidized C} \times 0.933}$
	4	Total oxygen efficiency	—	$\frac{\text{oxidized C} \times 0.933 + \text{oxidized Mn} \times 0.24 + \text{oxidized Si} \times 0.80 + \text{oxidized P} \times 0.933 + \text{oxidized Fe} \times 0.20}{\text{oxygen input} + O_2 \text{ in oxides}}$
2	5	Slag volume	kg/t	Average slag volume calculated by Ca-balance and Si-balance
	6	(ΣFe%)	%	Slag analysis
	7	(MgO%)	%	Slag analysis
	8	Total yield	%	$\frac{\text{tapping tonnage}}{\text{pig iron} + \text{scrap}} \times 100$
3	9	V. P. [Mn%]	%	Quant Vac analysis (assured by chemical analysis)
	10	V. P. [P%]	%	"
	11	V. P. [S%]	%	"
	12	V. P. [O%]	%	Vacuum fussion analysis
	13	Δ[O%]	%	V. P. [O%] - equilibrium value ([C]·[O]P <sub>co</sub> =1 atm) (Gakusin)

669.184.244.66:669.184.235.4

ノズル径 18mm φ, 25.8mm φ, 30mm φ の順に吹錬圧力は低くなり,  $U_0$  は圧力とともに少となる. このように同一ジェット・スピードにおいても酸素ジェット濃度  $u_{max}/U_0$  はノズル径の太い程大となり, その結果吹錬時間を短縮し, 脱炭速度を高めるものと思われる. なお脱炭反応に関して, (4) 式のごとき表示を用いれば脱炭に消費された酸素の効率が求まる.

脱炭効率  $\eta_c$

$$\eta_c = \frac{\text{酸化炭素量 (kg/ch)} \times 0.933 (\text{Nm}^3/\text{kg})}{\text{送酸素量 (Nm}^3/\text{ch)} + \text{装入酸化物中酸素 (Nm}^3/\text{ch)}} \quad (4)$$

(4) 式で求めた脱炭効率と酸素ジェット濃度  $u_{max}/U_0$  の関係を Fig. 3 に示す. 図中 25.8mm φ, ノズルで吹錬圧力 6kg/cm<sup>2</sup>G の場合は  $u_{max}/U_0$  の変化につれてほぼ直線関係が得られ,  $\eta_c$  は最高値となつている. 一方 25.8mm φ ノズルで 3.5kg/cm<sup>2</sup>G の場合はほぼ

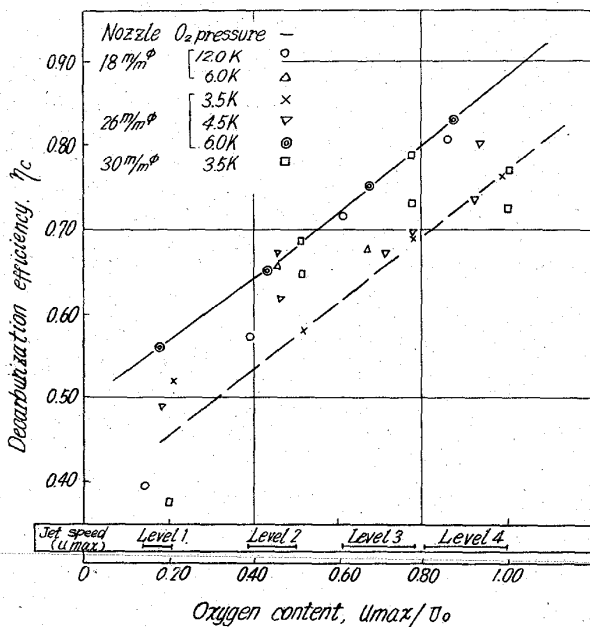


Fig. 3. Effect of oxygen content and velocity of jet on decarburization efficiency.

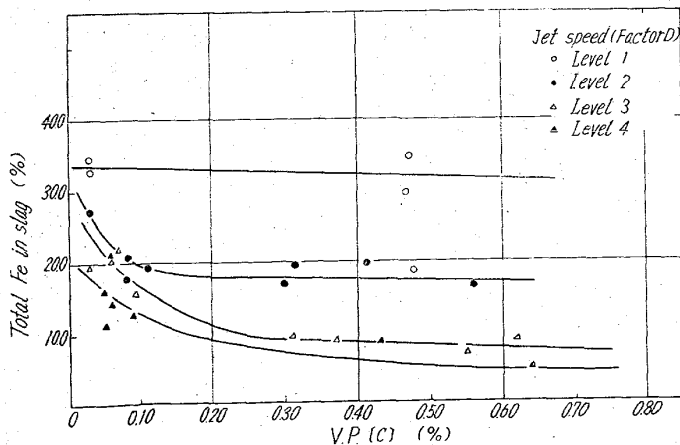


Fig. 4. Effect of end point [C%] and jet speed on total  $F_e$  in slag.

直線的であるが,  $\eta_c$  は一般に低い. 18mm φ, および 30mm φ ノズルにおいてはデータのばらつきが大きい. このような同一ノズル径による  $\eta_c$  の変動についてはいろいろ考えられる. たとえばノズルの設計条件からいえばこれらはショック・ウェイブ発生領域に属するものであり, ジェットの流れの乱れから  $\eta_c$  が少となつたことも考えられる. この件については装入量, 終点状況などの影響を無視できずさらに検討を要するであろう.

Table 3-a の第 2 グループは鉄の酸化につながる操業条件を挙げたが, ジェット・スピードの大巾な変化に対するデータの変動が大きいので, ジェット・スピードのみがクローズアップされ, その他の要因については (T. Fe%) に対する終点 [C%], スラグ中 (MgO%) に対するノズル径, 鉄損失および全出鋼歩留に対する終点温度の影響以外は明確ではない. これらのうちスラグ中 (T. Fe%) におよぼす終点 [C%] とジェット・スピードの影響を Fig. 4 に示す. 分散分析による有意性が図上に明らかに示される. Table 3-a の第 3 グループのうちとくに終点 [P], [S] に対しては予想に反して今回採用した 6 要因はいずれも有意性を示さなかつた. これらについてはスラグとの反応などを含めて検討中である.

#### 4. 結 言

純酸素転炉における吹錬試験を実験計画にもとずき実施した結果次の結論を得た. すなわち吹錬用酸素ジェットは脱炭反応および鋼浴酸化状況に密接な関係がある. 酸素ジェットの内容としては鋼浴面への吹きつけスピードまたは圧力 ( $u_{max}$  または動圧) のほかに, ジェットの酸素濃度も重要な要因であることが示された.

### (53) 鋼浴の酸化反応機構について

(純酸素転炉における吹錬反応機構の解析—Ⅳ)

日本鋼管, 技術研究所 ○川上公成

#### On the Kinetics of the Oxidation-Reaction in Steel-Bath.

(On the kinetics of the blowing reactions in basic oxygen converter—Ⅳ)

Kiminari KAWAKAMI.

引続き前報のデータを用いて, 鋼浴面におけるジェットの吹きつけ条件をいろいろに変化させた場合の鋼浴酸化反応機構の変化について調査した.

#### 1. ファイヤー・ポイントにおける酸素の吸収

##### 1.1 ファイヤー・ポイントの構造

ノズルから距離  $X$  だけ離れた所のジェットの体積は,

$$Q_X/Q_0 = \int_0^{\infty} \bar{u} \cdot dA / (U_0 \cdot A_0) = 4C \cdot (X/D_0) \quad (1)$$

によつて求められる. 上式によれば  $X$  が大になるほどジェット体積は増加する. ノズルから噴出する酸素の総量はあくまで一定であるため, このような体積膨張は運動量一定の法則に従い, 流速の低下に見合う分だけ, 炉内雰囲気中の CO ガスがジェット内部に拡散す