

- 1) 林・小野・桑原: 鉄と鋼, 51 (1965) p. 717
- 2) 林・小野・桑原: 鉄と鋼, 51 (1965) p. 1911
- 3) 川上・藤井: 鉄と鋼, 51 (1965) p. 706

(80) 多孔ノズルの吹錬反応機構について

(純酸素上吹き転炉における吹錬反応機構の解析-V)

日本鋼管, 技術研究所

川上公成・○藤井 隆・今井寮一郎

On the Kinetics of the Blowing Reaction with Multi Nozzle in Basic Oxygen Converter.

(On the Kinetics of the blowing reaction in basic oxygen converter-V)

Kiminari KAWAKAMI, Takashi FUJII and Ryōichirō IMAI.

1. 緒 言

LD転炉の大型化に伴ない最近多くのLD転炉工場では3孔ノズルを主体とした多孔ノズルが採用され、成果も多く報告されている¹⁾²⁾³⁾。多孔ノズルは作業能率上の利点を有する反面、ノズル形状が複雑なため冷却水の循環が悪くノズルの変形および溶損が著しい。このためランス高さを低く下げられず一般にソフトブローとなり、特に低炭素領域では鋼中酸素およびスラグ中酸化鉄が高く材質上および炉体持続回数低下が問題となる。今回LD転炉の基礎吹錬試験の一環として多孔ノズルと単孔ノズルの脱炭反応および材質特性について調査したので報告する。多孔ノズルには特殊な冷却機構のノズルを設計使用し、ランス高さを極端に下げ、鋼浴におけるジェット・スピード(U_{max})および酸素濃度(U_{max}/U_0)を大とした。

2. 実験計画

試験は前報⁴⁾に引き続き12t/chargeの試験転炉で行ない32チャージの実験計画で実施した。Table 1に要因と水準を示す。製鋼条件として終点炭素量は0.03~0.05%。終点温度はスケール、鉄鉱石の調整により1660~1700°C一定とした。要因と水準の算出には前報⁴⁾と同じく次の(1)~(3)式を使用した。

$$\text{酸素供給量} = \frac{\{\theta_T \cdot S^* \cdot P_0 / \text{全装入量}(t) \text{ (単孔ノズル)}\}}{\{3 \cdot \alpha \cdot \theta_T S^* P_0 / \text{全装入量}(t) \text{ (多孔ノズル)}\}} \quad (1)$$

θ_T : 定数($1.04 \text{ Nm}^3 / \text{kg} \cdot \text{min}$, 300°K), S^* : スロート断面積(cm^2), P_0 : 貯気相圧力=吹錬圧力(kg / cm^2), α : 断面積比。

$$\text{ジェット・スピード} = \text{動圧} (\text{kg} / \text{cm}^2) = (r/2g) \cdot (U_{max})^2 \quad (2)$$

r : 酸素密度(kg / m^3), g : 重力加速度(m / sec^2), U_{max} : 鋼浴面上におけるジェット速度(m / sec)

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

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= $0.202/P_0$.

3. 操業結果および考察

使用したノズルの詳細な仕様および吹錬圧力、ランス

* M(10°) M(7°) M(4°): multiple nozzle (angle of jet axis = 10°, 7°, 4°) S: single nozzle.

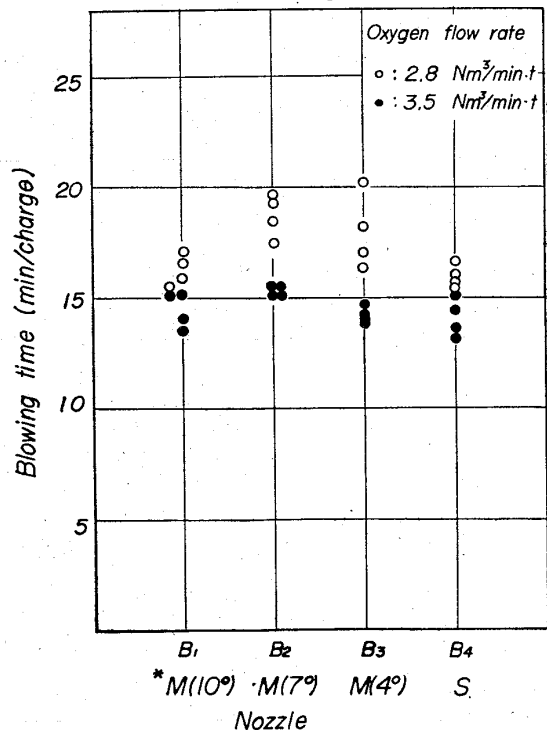


Fig. 1. Effect of nozzles and oxygen flow rate on blowing time.

Table 1. Factors and levels.

Factor	Level	1	2	3	4
A. Charging tonnage	(t/ch)	9.0	13.0	—	—
B. Nozzle*		M(10°)	M(7°)	M(4°)	S
C. Oxygen mass flow rate	(Nm³/min.t)	2.80	3.50	—	—
D. Jet speed	(kg/cm²)	0.70	1.20	—	—
E. Pig ratio	(%)	80	90	—	—
F. Basicity	(CaO/SiO₂)	3.5	4.3	—	—
G. Fluor spar	(kg/ch)	40~60	90~130	—	—

* M(10°), M(7°), M(4°): Multiple nozzle. (angle of jet axis=10°, 7°, 4°) S: Single nozzle.

高さを Table 2 に示す。Table 2 に示されるように多
孔ノズルを極端に鋼浴へ接近させて連続使用したが、ノ
ズルの溶損、変形は無く順調な操業を継続実施するこ
とができた。スロッピング、スピitting量の測定は行
なわなかつたが、肉眼観察では両現象ともほとんど認め
られず、全出鋼歩留りも平均 92~94% を示す良好な成
績を得た。

操業の解析結果を Table 3 に示す。全般的に吹錬時
間および脱炭反応関係ではノズル、酸素供給量、銑配合、
塩基度の影響が大きい。またノズルと装入量の交互作用
がかなり顕著に現われた。終点の鋼浴成分については各
成分かなり異なつた様相を呈している。例えば終点い
おう含有量に対しては高塩基度で高溶銑配合すなわち終
点温度のやや高い所で脱硫が有利に進行することが示され

るが、終点りん含有量では酸素供給量を低くし(終点温
度がやや低い)、塩基度を高くすることが有利であつた。

Fig. 1 は吹錬時間におよぼすノズル角度と酸素供給量
の影響を示す。今回の試験では吹錬時間として 15min/
charge および 17min/charge を目標としたが大体目
標に合致した成績が得られた。

次にこのような脱炭条件が鋼浴酸素にいかなる影響を
与えるかを Fig. 2 に示す。図によれば鋼浴酸素は脱炭
速度によつて大きく変化することが判る。とくに単孔ノ
ズルと多孔ノズルではその傾向は逆となつている。土居
ら¹⁾は単孔ノズルにおいてはジェット・スピードおよび
酸素濃度を増大させることによる鋼浴の過度の攪拌はか
えつて溶鋼の循環を不規則にし、CO の発生が円滑を欠
き酸素量の増加をきたすことを示したが、このため生ず

Table 2. Design of nozzles and blowing conditions.

Nozzle	Design of nozzles				Blowing condition	
	Diameter of throat	Ratio of throat sectional area	Angle of jet axis	Shape of diffuser (Mj*)	Lance height (mm)	Oxygen pressure (kg/cm ² G)
Multiple nozzle	14mm ϕ \times 3	0.833	4° 7° 10°	1.99	280~570	5.5~10.0
Single nozzle	25.8mm ϕ \times 1	1	—	1.96	470~1000	5.0~7.5

* Mj: Mach number of oxygen jet at nozzle exit.

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

Characteristic value	Factor							Interaction						ϕ_E		
	A	B	C	D	E	F	G	A \times B	A \times C	A \times F	A \times G	B \times D	B \times E		C \times E	
Blowing time (min/ch)	—	** 16.32	** 107.75	—	* 6.63	** 14.74	—	* 3.43	—	—	—	—	—	—	—	17
Decarburization speed (%/min)	* 7.08	** 23.31	** 188.82	—	** 36.66	** 25.27	* 3.61	** 34.41	—	—	—	* 3.55	—	—	—	16
Decarburization efficiency (%)	* 6.55	—	—	—	* 9.04	** 16.30	—	—	—	* 3.47	—	—	—	—	—	13
Total oxygen efficiency (%)	* 5.82	—	—	—	* 4.87	** 13.04	—	* 4.40	—	* 4.92	—	—	—	—	—	14
(Σ Fe %) at blow end	—	—	—	—	—	—	—	** 6.02	—	—	—	—	—	—	—	16
Total yield	* 7.97	* 3.79	—	* 7.58	** 16.57	—	—	—	—	—	—	* 4.24	* 5.24	—	—	14
[Mn %] at blow end	—	—	—	—	** 9.35	—	* 6.49	** 5.57	—	—	—	—	—	—	—	14
[P %] at blow end	—	—	* 7.65	—	—	** 10.90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18
[S %] at blow end	—	—	—	—	** 11.64	** 9.37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14
[O %] at blow end	—	—	—	* 4.45	—	—	—	* 3.27	—	—	—	* 3.45	—	—	—	16
a_{FeO}	—	—	—	—	** 10.85	** 5.84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16
$^{\circ}C_{O}^{SE}-C_{O}'$ (%)	—	—	—	** 15.27	** 17.2	—	—	** 7.68	—	—	** 21.4	—	* 8.74	—	—	17

* 95%, ** 99% significant.

$^{\circ}C_{O}^{SE}$: Slag equilibrium oxygen content (FISCHER \bar{n} von ENDE), C_{O}' : Observed oxygen content.

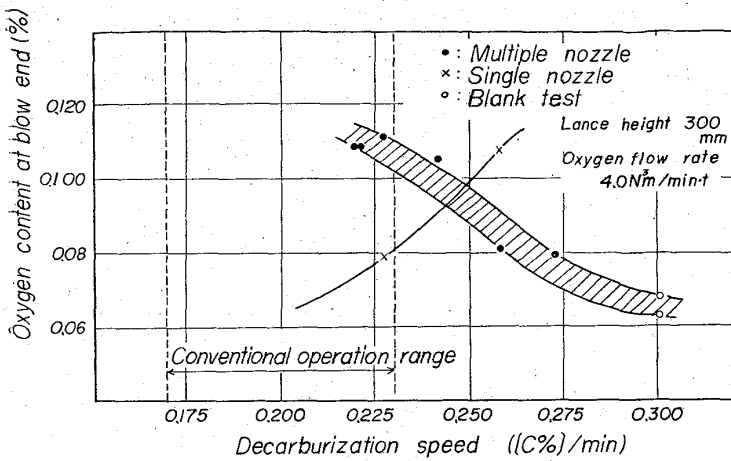


Fig. 2. Change in oxygen content at blow end with decarburization speed.

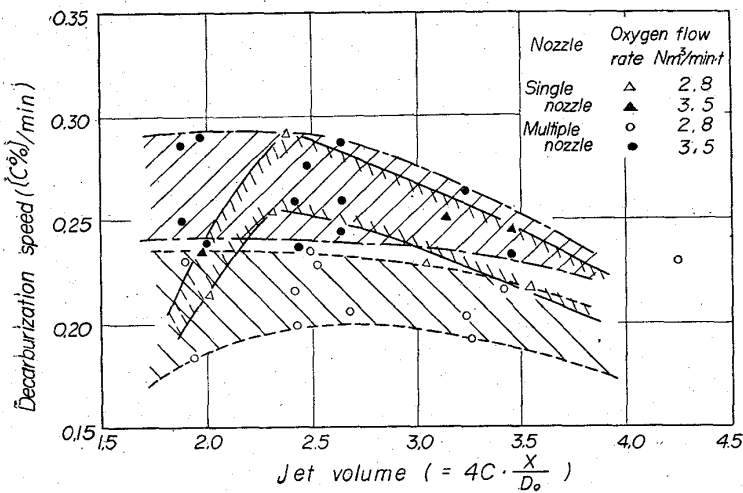


Fig. 3. Relation between jet volume and decarburization speed.

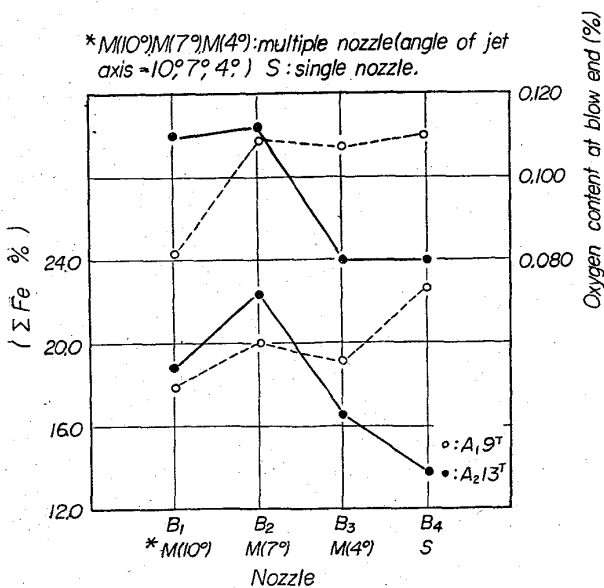


Fig. 4. Relation between total iron content in slag and oxygen content at blow end and various kind of nozzles.

る脱炭のおくれを考慮しても、上記要因が脱炭速度の律則段階であるかぎり本試験でも同様の結論を導くことができよう。一方多孔ノズルでは脱炭速度の大なる領域において鋼浴は円滑に攪拌され、低酸素鋼を得ることができるようである。今回の吹錬条件においては現在の普通LD操業の脱炭速度領域は鋼中酸素に関し単孔ノズルの方が有利となっている。ランス高さ 250~550mm, 脱炭速度 0.25~0.30 C%/min 程度の急速吹錬においては多孔ノズルでも単孔ノズルと同様の値まで鋼中酸素およびスラグ中酸化鉄を低下させることが可能になると思われる。

脱炭速度を支配する要因として前報⁴⁾では 1) 酸素供給量, 2) ジェット・スピード ($f(U_{max})$) および 3) 酸素濃度 (U_{max}/U_0) の 3 点が有意であった。本試験においてはジェット・スピードを大としたため U_{max}/U_0 として 1.0 のものが多かった。これは吹錬がジェット・コア (X_0/D_0) の内側で実施されていることを示すもので、この場合には U_{max}/U_0 値に代え、ジェット体積の概念を適用することができる。すなわちノズルから距離 X だけ離れた所のジェットの体積は次式で示される⁴⁾。

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

(温度および成分変化のない場合) ... (4)

Q_X : 鋼浴面におけるジェットの体積 (Nm^3/min). Q_0 : ノズル出口における酸素供給量 (Nm^3/min), \bar{U} : 鋼浴面におけるジェットの流速 (m/sec), U_0 : ノズル出口におけるジェットの流速, A_0 : $\pi/4 D_0^2$. ノズルから噴出する酸素の総量は一定であるが、鋼浴へジェットが到達する間に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して捲込まれる。

今回の実験値の脱炭速度とジェット体積の関係を示せば Fig. 3 のごとくなる。捲込まれた CO は鋼浴面での吸収速度が酸素よりはるかに小さく、はね返されることが予想される。はね返される捲込みガスの量も当然鋼浴の攪拌に一役果していると考えられる。すなわち Fig. 3 によれば単孔ノズルでは捲込みガス量に最適のあることが示されるが、多孔ノズルではジェットの水平分力がこれに代わるためか、さらにジェット量を少なくしても良いようである。

Fig. 4 に鋼中酸素およびスラグ中酸化鉄におよぼすノズルと装入量の交互作用を示す。ノズルの種類および吹錬条件などは鋼浴の形状との関連で評価されるべきであるがそれを組み合わせた理論について不明の点が多く、図からも具体的な結論を出し得ない。単孔ノズルにおいてはシャローバスよりディープバスの方が有利のようである。

鋼中酸素とスラグ中酸化鉄の関係について、A. FISCHER *ü. von ENDE*⁶⁾ の式および J. CHIPMAN⁷⁾ の式を用いて調査した。前者は石灰飽和の条件で実験がなされているので比較的后者より実際条件に近いと考えられ

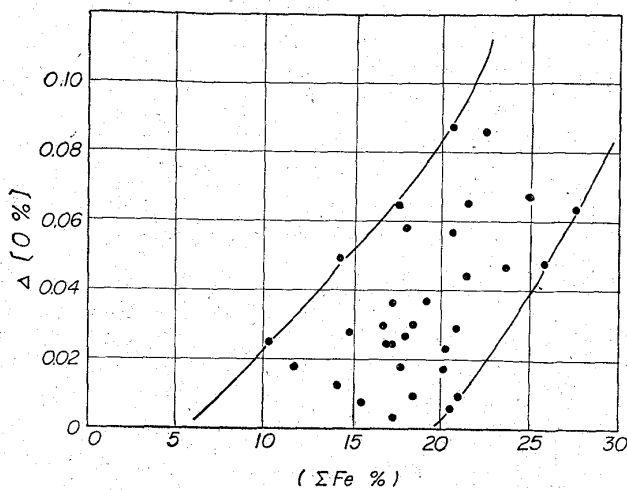


Fig. 5. Relation between excess oxygen content in bath and total iron content in slag.

る。その結果によれば今回のデータではスラグより鋼浴の方が酸化していることになる (Fe_2O_3 1.35 倍に評価)。一例として $P_{CO} = 1 \text{ atm}$ における $[C\%] \times [O\%]$ 平衡に対する過剰酸素 ($\Delta [O\%]$) とスラグの酸化鉄 ($\Sigma Fe\%$) との関係を示せば Fig. 5 のごとくなる。一般に平炉、電気炉では ($\Sigma Fe\%$) を通して $\Delta [O\%]$ が生成されると考えられているが、A. FISCHER *ü* von ENDE⁶⁾ によれば鋼浴の方が酸化されていることになり、むしろ Fig. 5 は $\Delta [O\%]$ から ($\Sigma Fe\%$) が生成されていると言うべきかも知れない。これは LD 転炉において酸素ジェットによる直接酸化ということとも密接な関係があるものと思われる。

4. 結 言

低炭素の吹錬に関し、多孔ノズルと単孔ノズルの能率 (脱炭速度) と材質特性 (鋼中酸素) を比較した。多孔ノズルで低炭素鋼を得る条件として: 1) ランス高さを 250~550mm 程度まで低く下げる。2) 脱炭速度を $0.250 \sim 0.300 \text{ C\%/min}$ 程度 (吹錬時間 14~15min) とするの結論を得た。

また急速吹錬の条件としては酸素供給量, ジェット・スピード ($f(U_{max})$), および酸素濃度 (U_{max}/U_0) の他に適正なジェット体積を鋼浴 (ことに単孔ノズルでは) へ与える必要のあることが判つた。

文 献

- 1) 根本他: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 720
- 2) 森田他: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 1732
- 3) 岩村他: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1382
- 4) 川上他: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 708
- 5) 土居他: 国際 LD 技術会議資料, 1962, 11月
- 6) A. FISCHER *ü* von ENDE: Arch Eisen hüttenw. 23 (1952/53) S. 549
- 7) C. TAYLOR & J. CHIPMAN: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 154 (1943), p. 228

(81) 吹錬時間ならびに製鋼歩留におよぼす副原料使用法の影響

(純酸素転炉による低炭素鋼溶製に際しての鋼滓中酸化鉄含有量の研究—II)

日本鋼管, 水江製鉄所

板岡 隆・三好 俊吉
山鹿 素雄・半明 正之

Effect of Fluxes as Coolants on Blowing Time and Metallic Yield.

(Study on iron contents of slag at low carbon steel by L-D process.—II)

Takashi ITOGA, Shunkichi MIYOSHI,
Motoo YAMAGA and Masayuki HANMIYÖ.

1. 緒 言

純酸素転炉で低炭素鋼を溶製する際の鋼滓中酸化鉄含有量におよぼす1つの大きな要因として、冷却材として使用される鉄鉱石があることは前報で示した通りである。すなわちそれは、冷却材として使用される鉄鉱石は鋼滓中酸化鉄含有量を高めるが、そのかわりに石灰石を使用すれば鋼滓中酸化鉄含有量を低く保てるということであつた。この場合、鋼滓中酸化鉄含有量が変動すれば他の操業状況に影響を与えるので、本報告は鉄鉱石冷却法と石灰石冷却法の吹錬時間および製鋼歩留りについて比較検討したものである。

2. 副原料 (鉄鉱石, 石灰石) の吹錬時間および製鋼歩留りにおよぼす影響

2.1 副原料使用方法と鋼滓中酸化鉄含有量の関係

溶鉄配合率が一定であつても溶鉄温度, 溶鉄中 $[Si]$ 含有量および炉体の新旧などで使用する冷却材の量は変化する。この場合に冷却を主として鉄鉱石で行なう場合には、その使用量が増加すると鋼滓中 ΣFe が増加するが、鉄鉱石のかわりに石灰石を使用すれば鋼滓中 ΣFe

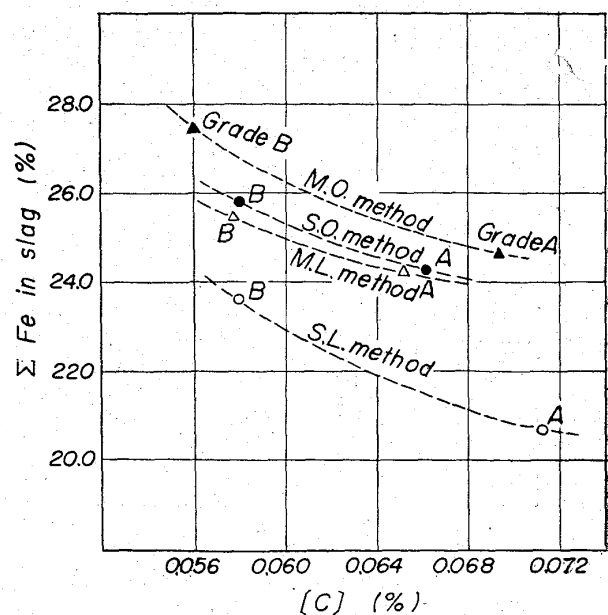


Fig. 1. Relation between lance nozzle, coolants and ΣFe in slag.