

討10 LD-OB法の冶金, 吹錬特性

新日鉄八幡製鉄所 村上 昌三, 工藤 和也, 甲谷 知勝
 ○大河平和男, 平居 正純, 甲斐 幹*

I 緒言 純酸素上吹転炉に炉底よりガスを導入して, 冶金特性の改善を図ろうとする考えは古く, たとえば1957年に発表された, H. Kosmider⁽¹⁾らのKombiniertes Blasverfahrenなども正に最近の上底吹転炉と同じ原理を追求したものであった。最近の複合吹錬法は, 1968年に西独およびフランスで, 純酸素底吹転炉法が開発されたのを契機として, 1970年代後半より, ヨーロッパおよび日本で研究開発が始められたものである。当社においては, すでに1963年に⁽²⁾, 上吹転炉の鋼浴中に不活性ガスを吹込み, 鋼浴の攪拌を強化することにより, 脱P反応が著しく改善できることを小実験で確認していた。このような知見をもとに1977年末より, 底吹条件と鋼浴の攪拌改善効果に関する種々の水モデル実験を開始し, さらに旧八幡五製鋼工場75トン転炉において, 1978年2月より実炉試験を実施し, LD-AB⁽³⁾, LD-OB⁽⁴⁾法を開発した。その後1980年7月には最新鋭の八幡製鉄所三製鋼工場の320トンLDをLD-OBに改造したのを始め, 数基の転炉に適用してきた。本報告は, 水モデル実験と75トン炉での実験より, 上底吹転炉の攪拌強さの評価式と吹錬指標を明らかにすると同時に, 320トン大型LD-OB炉で確認された, 底吹ガス流量と冶金特性との関係ならびに吹錬特性につき述べたものである。

II 底吹と上吹の攪拌エネルギーの重乗効果について⁽⁶⁾

1. エネルギーの評価式: 攪拌エネルギーの評価式に関しては, 中西ら⁽⁷⁾による先駆的な研究があるが, 以下の3点について筆者らと考えを異にする。

- (i) 攪拌エネルギーの評価に際してのノズル個数の影響
- (ii) 上吹エネルギーの評価式
- (iii) 実炉でのτを推定する際の装置大きさの影響

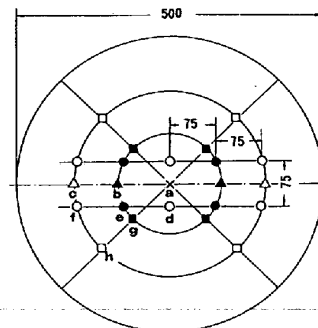
これらの点を改めて, 底吹ガスと上吹ガスによる, 水浴単位容積当りのエネルギー密度式として (1), (2)式を採用した。

$$\dot{\epsilon}_{V,B} = 6.18 \frac{Q_B T_L}{V_L} \left\{ 2.3 \epsilon_0 g \frac{P_2 \rho H}{P_2} + \left(1 - \frac{T_n}{T_L} \right) \right\} \dots\dots(1)$$

$$\dot{\epsilon}_{V,B} = \frac{0.632 \times 10^{-6} \cos \epsilon}{V_L} \cdot \frac{Q_T^3 \cdot M}{n^2 \cdot d^3 x} \dots\dots(2)$$

2. 水モデル実験での検討結果: 実験方法の詳細は, すでに報告した⁽⁶⁾通りであるが, Fig 1に示した13通りのノズル配列において, ノズル本数と配列, ならびに底吹ガス量と上吹条件等が, 浴の均一混合時間τに与える影響について検討した。Fig 2には, LD

* (現)日新製鋼株式会社



Tuyere configuration	1	2	3	4	5	6	7
No of tuyeres	1	4	4	4	5	6	6
Selected positions	a	e	g	h	e+h	d+e	d+f
Tuyere configuration	8	9	10	11	12	13	
No of tuyeres	6	6	6	6	10	12	
Selected positions	b+e	c+f	b+g	c+h	d+e+f	c+d+e+f	

Fig. 1 Tuyere configurations examined

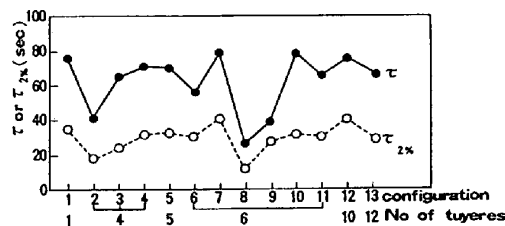


Fig. 2 Effect of number of tuyeres and tuyere configuration on perfect mixing time under the condition of the constant flow rate of 67.5 Nℓ/min

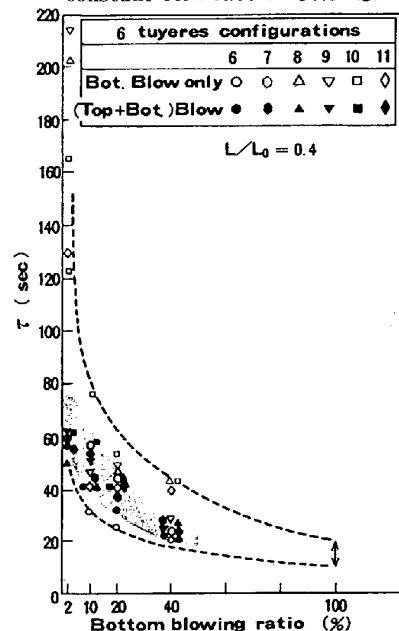


Fig. 3 Effect of bottom blowing ratio, tuyere configuration and blowing methods on perfect mixing time

における標準的な送酸速度の10%相当量を底吹した時の τ とノズル本数ならびに配置との関係を示した。本数の影響は認められず、むしろ配置の影響が大きい。この内6本のノズルの6種類の配置について、所定量を底吹したものと(オープンマーク)、この底吹に上吹を加えて、上底流量の和がLDでの標準的な送酸速度になるようにした場合(フルマーク)につき、底吹ガス比率(OBR)と τ との関係をFig. 3に示した。底吹のみの際にはガス流量が少いとノズル配置の影響が顕著に認められるが、流量の増大とともに、その影響は小さくなり、さらに上底同時吹きの際には、OBRによらず配置の影響も小さくなることを認めた。(1)、(2)式で評価した攪拌エネルギーと τ との関係はFig. 4に示すようになる。(2)式で示した上吹のエネルギー($\dot{\epsilon}_{V,T}$)と τ との関係は、底吹の $\dot{\epsilon}_{V,B}$ と τ との関係に対し大きく偏位する。上吹のエネルギーはスピittingの形成などにも消費されるので、攪拌動力への変換効率が底吹より小さいと考えられる。 $\dot{\epsilon}_{V,B}$ と τ との関係をベースに、統一的に表現するためには(3)式で示すように、 $\dot{\epsilon}_{V,T}$ の攪拌動力の変換効率は $\dot{\epsilon}_{V,B}$ の1/10と評価される。

$$\tau_w = 540 (\dot{\epsilon}_{V,B} + 0.1 \dot{\epsilon}_{V,T})^{-0.5} \dots\dots\dots(3)$$

3. 実炉での τ の推定と吹錬指標： 水モデル実験で求めた τ_w の関係式より、実炉での τ を推定するには、 τ_w の(8)のいうように、反応容器の大きさと、浴の密度の差を考慮し、(4)式のような補正をして使用した。

$$\tau = (H/12.5)^{2/3} \cdot (\rho_l/\rho_s)^{1/3} \cdot \tau_w \dots\dots(4)$$

さらに底吹ガスとして、Ar等の不活性ガスを使用する際と、酸素ガスを使用する際には、有効な底吹ガス流量の評価をかえる必要がある。Q-BOPでの〔%C〕と脱炭酸素効率との関係より、計算すると〔%C〕 \div 0.05近辺ではArとO₂との有効ガス容積がほぼ等しくなる。実炉での τ の実測は困難なため、容量のことなる、3つのLDの吹錬末期の標準的吹酸条件に対する τ を(4)式で評価すると、いずれも100秒前後と評価された。さらに(4)式で、上吹条件(L/L_0)とOBRの τ に対する影響を評価し、Fig. 5に示した。OBRが数%以上になると、 τ に対する上吹条件の影響は著しく小さくなり、この傾向は実炉での実績⁽⁴⁾ともほぼ一致する。

さらに高速吹錬時の酸素供給速度の影響について、軽装入操業をすることにより、溶鋼単位重量当りの送酸速度を大巾に増大させて評価した結果をFig 6に示した。(%T. Fe)は、同じ底吹ガス流量でも、4%程高くなった。上底同時吹ならびに上吹転炉の吹錬指標として、 τ が鋼浴の循環速度にも対応することを考慮して、FeOnの生成速度を決める全酸素供給速度(Q_{O_2s})と、鋼浴の循環速度と〔%C〕で決まる、FeOnの還元剤としての、Cの供給速度のバランスを示す指標として、BOC⁽⁹⁾(Balance of Oxygen and Carbon feeding rate)なる値を(5)式で定義した。

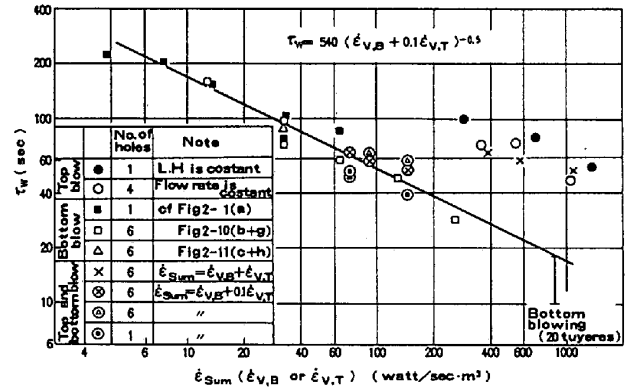


Fig. 4 Evaluation of agitation energy for top-and bottom-blowing method

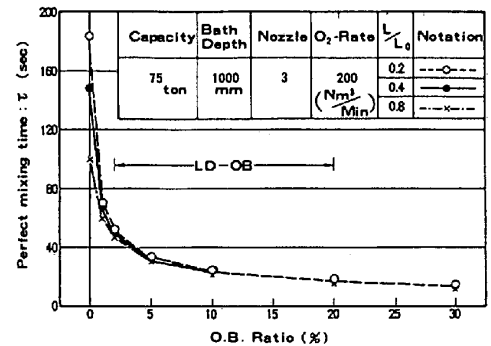


Fig. 5 Influence of O.B. Ratio and L/L_0 on τ

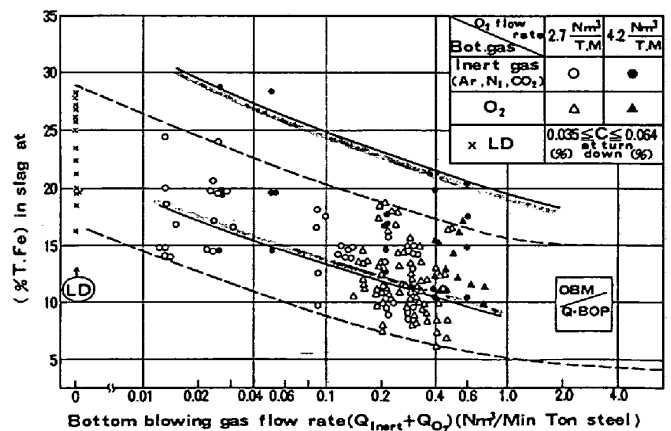


Fig. 6 Influence of oxygen flow rates on the relationship between bottom blowing gas flow rate and (%T. Fe) in slag.

$$BOC = Q_{O_2S} / (W/\tau \times [\%C]) \dots\dots\dots(5)$$

Fig. 7 に示した冶金反応特性の代表値としての (%T, Fe) と BOC との関係から, BOC が有力な吹錬指標となり得ることを確認した。

Ⅲ 大型 LD-OB 転炉での冶金, 吹錬特性⁽¹⁰⁾

1. 脱炭反応特性について: Q・BOP では, LD に比較して, 低炭素域まで, 脱炭酸素効率が高い状態で脱炭反応が進行することが報告されている。LD-OB での脱炭反応を評価するため, 吹止直前のサブランスによる C 値 (C_{SL1}) と吹止での C 値 (C_{Ept}) ならびに, この間の送酸量 (ΔO₂) より, 脱炭第 3 期の脱炭速度定数 (k'') を(6)式で求めた。k'' = -ln(C_{Ept}/C_{SL1}) / ΔO₂ ……………(6)

-d[%C]/dO₂ = k'' · [%C] なる関係を Fig. 8 にプロットした。

この関係と, 脱炭酸素効率を 100% とした 脱炭第 2 期の脱炭速度線との交点より, C_B 点を求めた。C_B 点は LD での 0.47% から, OBR = 8% の LD-OB では 0.36% まで低下することが確認できた。さらに脱炭反応で特筆すべきは Fig. 9 に示したごとく, 吹錬の終点における [%C]-[%O] 値と平衡すべき, P_{co} が OBR の増大とともに 1 atm より小さくなる事実である。羽口冷却剤としての LPG の使用比率が OBR によらずほぼ一定である本実験結果は, 冷却剤中の H₂ による CO 濃度が稀釈効果という従来からの説明では, 理解できず, OBR の増大とともに変化するスラグ中の酸素ポテンシャルや, 火点での O₂ の吸収速度の差等が関与するものと考えられる。

2. スラゲーメタル反応について: 代表的な反応として, 脱 P 反応と, 脱 Mn 反応を例に取り示す。

LD 法と LD-OB 法の脱 P 能を定量的に比較する為, 見掛上の脱 P 平衡比 K'_p = (%P₂O₅) / ([%P]² · (%T-Fe)⁵)

を, LD 法, OBR で層別して log K'_p = a (%CaO) + b(TK) + C

の関数型で, 重回帰式を求め, 夫々について (%CaO) = 49% 温度 1650℃ の一定の条件下で, K'_p を求めて Fig. 10 に示した。LD-OB 法の脱 P 能は OBR が 4% 以上で, 著るしく改善されており, かつ吹止から出鋼後の取鍋間での脱 P も, LD 法より大きいことが判かる。さらに LD-OB 法では, 後述するごとく, 吹止温度を LD 法に比較して約 10℃ 低くすることが出来るので, この分さらに脱 P が有利なることを確認した。

吹止時における [%Mn] と [%C] との関係を, OBR 10% と 4% の LD-OB 操業ならびに, 各々の条件下でマンガニ鉱石を 2 Ton/ch 使用した結果につき Fig. 11 に示した。

これらの条件では, K'_{Mn} = (%MnO) / ([%Mn] · (%T-Fe)) の関係に差が認められないことも, 別途確認できたので, LD-OB 法で溶鋼中 [%Mn] が上昇するのは, スラグ中の (%T · Fe) の低下に起因し, このため酸化マンガンの還元も容易になるものと考えられる。

3. 吹錬特性について: LD-OB 法ではスラグ中への酸化鉄損失の減少および, スロッピングの減少により約 1% の鉄分歩留りが向上するとともに, 吹止時の [%Mn] も上昇

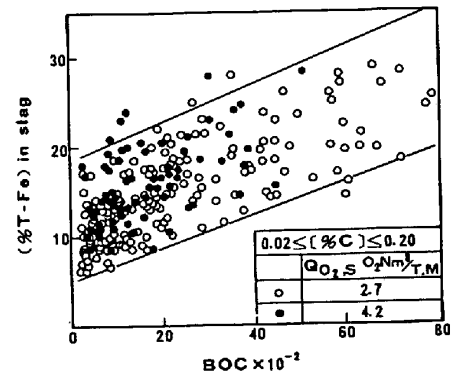


Fig. 7 Relationship between BOC and (%T, Fe) in slag

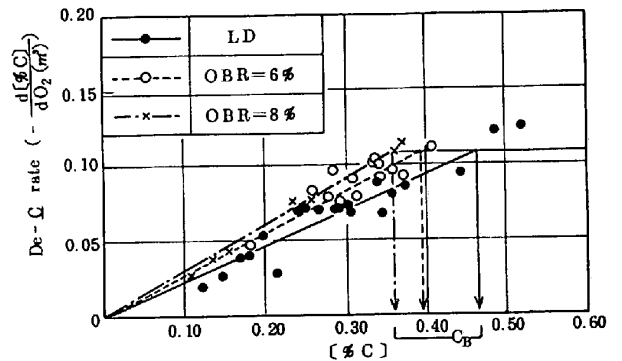


Fig. 8 Influence of OBR on C_B point

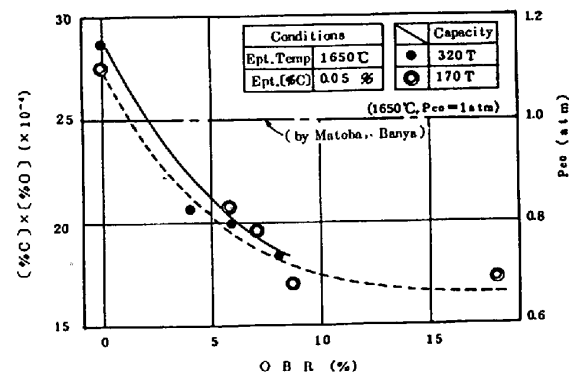


Fig. 9 Relationship between OBR and [%C] × [%O] product

する。このことは一方では鉄やマンガンの酸化反応熱が減少し、熱バランス上不利を招くことになる。しかし、上吹酸素によるCOガスの炉内二次燃焼率が高いこと、底吹ガスが酸素であるため、顕熱ロスあるいは分解反応による吸熱がない上に、底吹により鋼浴温度の均一化が促進され、吹止温度をLD法より約10℃低くできるため、LD-OB法の溶銹比の上昇は、LD法に対して約0.7%と僅少である。

さらに鋼浴成分と温度の均一化、および炉内反応の再現性の向上により、サブランスを用いた終点制御性、特に吹止温度の推定精度がFig. 12に示すごとく、大巾に向上し、再吹率も、LDとしての操業時の1/2以下の6%以下に低下した他に、鎮静時間の短縮、QT出鋼率の向上など顕著な効果を収めている。さらにLD-OB法では、底吹酸素による屑鉄溶解の促進、攪拌強化によるスロッピング防止、ならびに上吹酸素のソフトブロー化によるスピッチング防止などにより、高速吹錬も容易になり、最大送酸速度もLDとしての操業時の70000Nm³/Hrに対して、80000Nm³/Hrに増大し、製鋼時間の短縮に大きな成果を納めている。

4. 底吹用羽口寿命について： LD-OB法では炉底交換方式を取らず、個々の羽口の交換が可能で、外挿方式を採用した。酸素底吹用二重管羽口はLPG冷却方式であるが、羽口構造、底吹ガス条件、羽口耐火物の材質と構造などについて、種々改善を行い、溶製鋼種の全量が、CC材で比較的高温であるにもかかわらず、最近では溶損係数も0.5~0.7mm³/chとなり、またFig. 13に示すごとく、炉体と羽口の寿命もほぼ調和して、ほぼ完全なLD-OB操業体制を確立した。

Ⅵ 結言 75トン炉での開発試験を通じて得た、LD-OB法の操業技術を基に、八幡製鉄所第三製鋼320トン炉を始めとして、LD-OB法の大型炉への適用拡大を図ってきた。この間、種々遭遇した技術的問題もほぼ解決され、LD-OB法の冶金効果を十分に享受しうる操業体制を確立することができた。今後は、耐火物成績の一層の向上、溶銹成分、溶銹比への適用性の拡大、高速吹錬による能率の向上などLD-OB技術の一層の向上を図る方針である。

(参考文献)

- (1) Kosmider, Hetal Stahl u. Eisen 77(1957) S1277
- (2) 加藤 健 他 鉄と鋼 49(1963)8P1065
- (3) 甲斐 幹 他 " 66(1980)4S 234
- (4) " " 66(1980)4S 235
- (5) 甲谷知勝 他 " 67(1981)4S 10
- (6) 大河平和男他 鉄と鋼 67(1981) 12 S 864
- (7) 中西恭二 他 学振19委-10303-反応284(1980)
- (8) 鞭 巖 他 学振19委-1031 -反応504(1981)
- (9) 甲斐 幹 他 鉄と鋼 (投稿中)
- (10) 谷沢清人 他 " 67(1981) 12 S 874

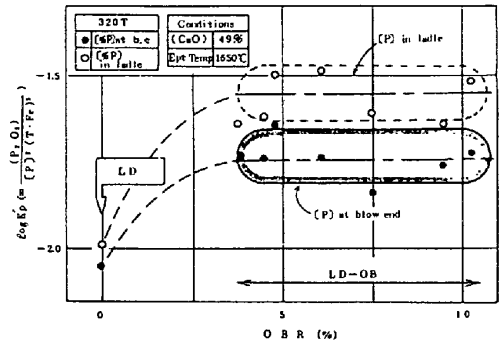


Fig. 10 Relation between OBR and Log K'p

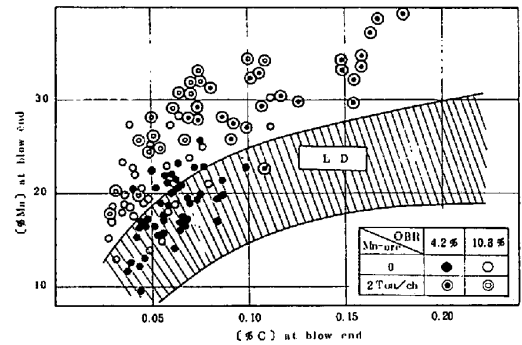


Fig. 11 Relation between [%C] and [%Mn] at blow end

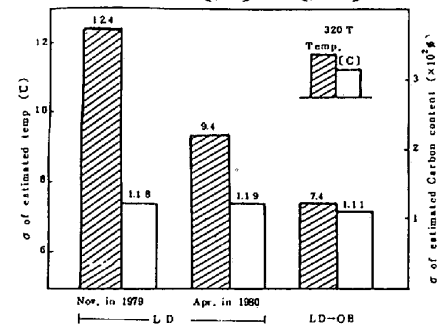


Fig. 12 Comparison of estimated accuracy in dynamic model between LD and LD-OB

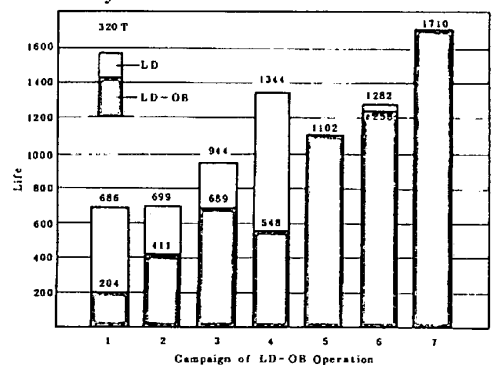


Fig. 13 Evolution of life of vessel