

討 9

上下吹転炉による新しい吹錬法

（株）神戸製鋼所 加古川製鉄所 喜多村実 ○伊東修三
松井秀雄 藤本英明
中央研究所 工博 小山伸二

1. 緒 言

この数年来、国内においては従来の純酸素上吹転炉に底吹転炉の優れた溶鋼攪拌特性を加味した上下吹転炉法の開発が活発に進められ、実用化の段階に移行しつつある。当社でも、上吹転炉々底からのガス吹込みによる精錬特性の改善を目標に、200 T 上下吹転炉法（LD-OTB法）の実炉試験を進め、羽口構造、流量制御に関する下吹ガス吹込み総合技術を確立し、低炭素鋼から高炭素鋼に至る広範な鋼種の溶製に適用し得る新しい精錬プロセスを開発、実用化した。本報ではこれらの吹込み技術と0.01~0.10 Nm³/分、Tの広範囲流量制御技術から得られる炉内精錬特性の概要を報告する。併せて、操業上欠かせない羽口耐火物技術についても考察した。

2. 新型羽口の開発

下吹ガス吹込み羽口構造としては、下記の条件を満たすことが必要である。

- (1)安定した流量確保と広範囲ガス流量制御が可能なこと。
- (2)羽口周辺耐火物の侵食が促進されないこと。

前者は、上下吹法が任意の鋼種に適用でき、しかも少量のガス流量で精錬効果を最大限に発揮するために欠かせない重要な技術要素である。また後者は、ガスの吹戻しによる底たたき現象^{1),2)}と密接な関係を持ち、吹込み方法、特に羽口構造により大きく影響を受ける。

当所でも、2重管羽口を用いた水モデルテストにおいて、高速度撮影や騒音計による噴流ガス挙動の調査から内外管の圧力差を大きくする程、底たたき回数が減少することを確認している。但し、図1(A)の羽口流量特性図に示すように、2重管羽口では外管圧力を設備仕様上限の10 kg/cm²Gに固定して、下吹流量を4.0~8.0 Nm³/分の範囲で制御する場合、内管圧力は1.7~7.0 kg/cm²Gの低圧領域となるため、その流量制御範囲（最大流量/最小流量）が小さく、また地金閉塞による考えられる内管ガス流量の不安定性が完全には解消されなかった。このため、当社では安定した広範囲流量制御が可能なSA羽口（Single Annular Tuyere）を開発、実用化した。例えば、図1(B)に示すSA羽口を用いた場合、下吹ガス流量が4.0~8.0 Nm³/分では吹込み圧力が6.0~13.0 kg/cm²Gの高圧側へ移行し、安定な流量制御が可能になった。実際、当該羽口を用いると、羽口の地金閉塞によるトラブルは完全に解消され、下吹ガスの0.01~0.10 Nm³/分、Tの広範囲流量制御技術が確立された。図2.

なお、羽口周辺耐火物の溶損量は内外管の圧力差 ΔP と密

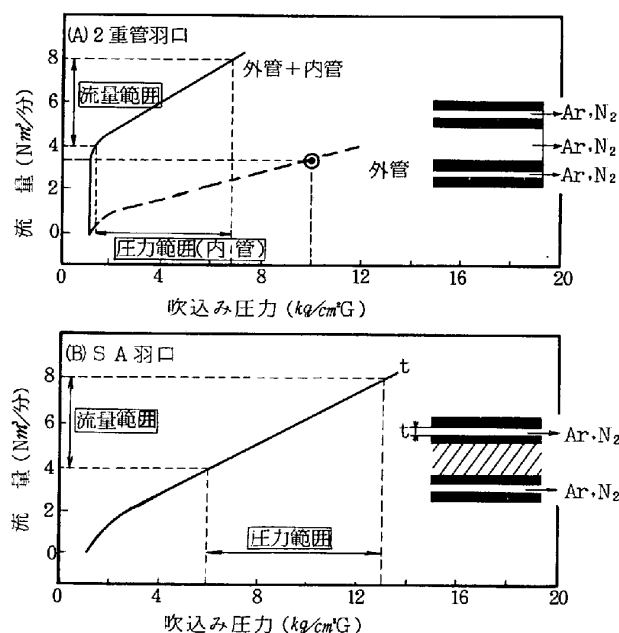


図1. 羽口の流量特性

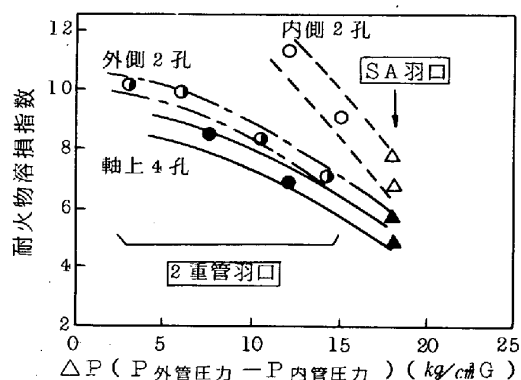


図2. 下吹ガス吹込み圧力と羽口周辺耐火物溶損量の関係

接な関係があり、図2に示すように ΔP を大きくすると耐火物溶損量が大幅に低減される。但し、図中の内側2孔、外側2孔、軸上4孔は下吹羽口位置を示している。

3. 上下吹転炉の精錬特性

3-1. 下吹ガス吹込みパターンと精錬特性

従来、吹錬中の下吹パターンの精錬特性に及ぼす影響を調査した例は少なく、脱炭効率が低下する吹錬末期での強撹拌が有効であると考えられていた。そこで、低炭リムド鋼において、下吹ガスを低流量から高流量に変更する時期 θ (%)を変化させて、精錬特性に及ぼす影響を調査した。

その結果を図3に示し、併せて吹錬中の[P]の挙動を図4に示した。吹錬初期から強撹拌した $\theta=0\%$ では、吹止(Mn)は高いが、スラグ(T・Fe)及び脱磷能の低下が起こる。 θ が遅くなるに従って、吹止(Mn)は低下し、スラグ(T・Fe)及び脱磷能は向上するが、40~70%を境界として逆の傾向が現われる。これは、吹錬脱磷能にとって適正な下吹吹込み条件が存在することを意味する。一方、転炉の上下吹化により、一般にその溶製が困難とされている高炭素鋼($[C] \geq 0.60\%$)についても吹錬中の適正な下吹ガス吹込みパターンの選択により、上吹転炉と同等の脱磷能が得られた。高炭素鋼の磷分配比を図5に示すが、最も高い脱磷率の得られる下吹パターンは中期強撹拌方式である。更に、吹止直後可能な限り下吹ガス流量を低減し、脱炭反応とスラグフォーミングを抑制することにより、高炭素鋼の安定製造を可能にした。

3-2. 撹拌改善効果の応用例

上下吹転炉の撹拌特性を有効に利用するため、Mn鉱石の炉内添加を試みた。その結果、吹止(Mn)の上昇とともに、Mn鉱石の滓化促進効果により炉内脱硫と脱磷能が向上した。低炭リムド鋼の脱磷平衡について、Healyの式で整理した結果は図6の通りで、Mn鉱石添加により磷分配比が大きくなる。ここで、脱磷能に及ぼすスラグ酸化度の目安として、(T・Fe)及び(MnO)の寄与を検討した。Healy式中の(T・Fe)の代わりに(T・Fe)+

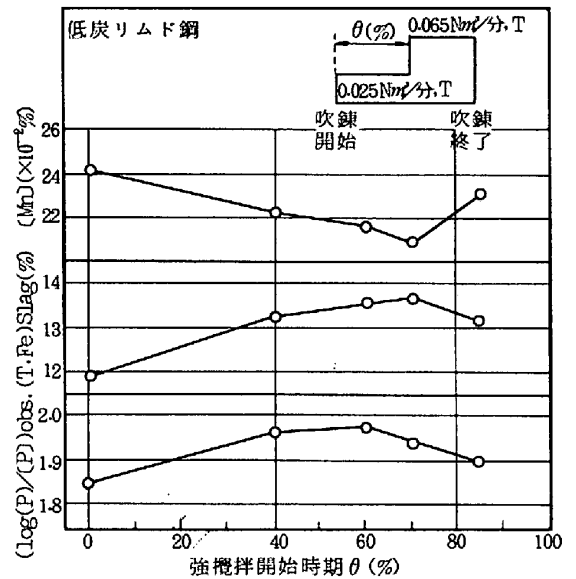


図3. 強撹拌開始時期 θ と吹止成分値の関係

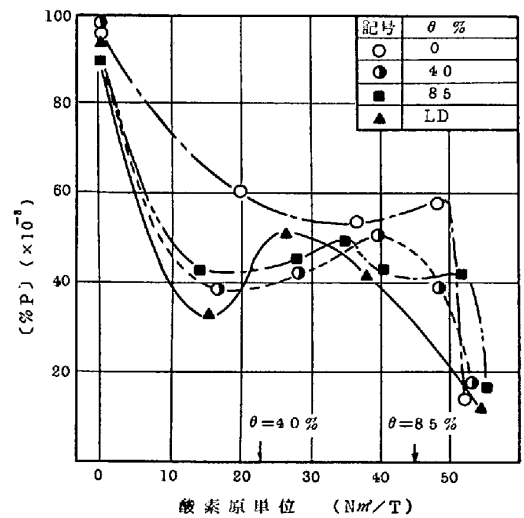


図4. 吹錬中の[P]の挙動

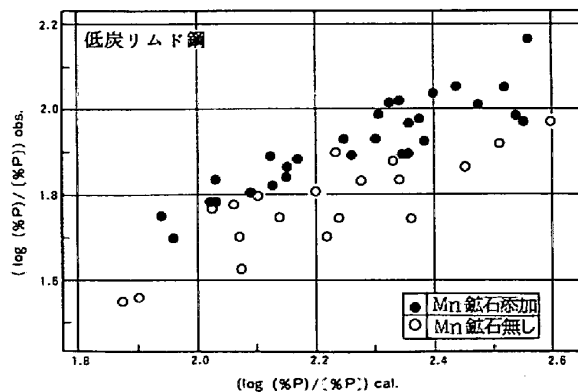


図6. Mn 鉱石使用時の脱磷平衡

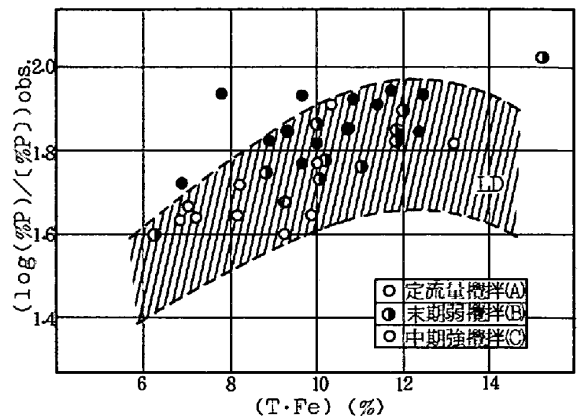


図5. 高炭素鋼の脱磷平衡

$\alpha(\text{MnO})$, $\alpha=0.3\sim 0.5$ で整理すると、Mn 鉱石添加の有無によらず、その脱磷能はほぼ一致した。

4. 上下吹転炉の攪拌混合特性

4-1. 鋼浴内[C]の不均一性改善

上下吹転炉の鋼浴内攪拌強化による効果を把握するために、2本のサブランスを用いて、炉内の異なった2点で同時サンプリングを行ない[C]のバラツキを調査した。その結果を図7に示すが、従来の上吹法では0.20%以下の低炭素域でも最大±0.07%のバラツキが確認されているが、上下吹法では高炭素域でも±0.02%の範囲に収まり顕著な改善効果が認められた。

4-2. 脱炭反応

図8に、反応界面への酸素の供給律速からCの移動律速に遷移する臨界濃度 C^* に及ぼす下吹ガス流量の関係を示す。下吹ガス流量の増加とともに C^* は低下し、下吹ガスが0.08Nm³/分,Tでは $C^*=0.22\%$ である。なお、下吹ガスのより高流量域における挙動については未調査であるが、図8に示す通り0.10Nm³/分,T以上において C^* の減少傾向はあまり認められない。

4-3. 鋼中酸素

図9に下吹ガス流量と吹止(O)_Fの関係について当所200Tおよび尼崎30T上下吹法の結果を示す。(O)_Fは少量の下吹ガス攪拌で、[C]-(O)の平衡より決まる(O)よりも低くなる上、0.10Nm³/分,T以上では下吹ガス流量および種類に関係なく、ほぼ一定になっている。図10は、 $(\%T.Fe) + 0.31(\%MnO)$ と $P_{CO}([\%C] \cdot [\%O] \cdot 10^{\frac{1160}{T} + 2.003})$ の関係を示す。同図の回帰直線の傾き及び吹止Cが0.05%における(T.Fe)の差、 $\Delta(T.Fe)$ 上吹-上下吹が約5%であることを考慮するとスラグ酸化度の低下により上下吹法では、吹止(O)_Fが約60ppm低下する。また同一スラグ酸化度において、上下吹法では $\Delta P_{CO} \approx 0.27 \text{ atm}$, (O)_F 換算で約130ppm低くなっている。

一方、吹止(O)_F に及ぼす下吹羽口位置の影響を図11に示す。同一下吹流量では、内側2孔の方が外側2孔より(O)_F が低い傾向が認められた。これは、吹込み位置により鋼浴の混合特性が変化することを示し、吹止(O)_F の低減には火点下攪拌の内側2孔方式が有効である。

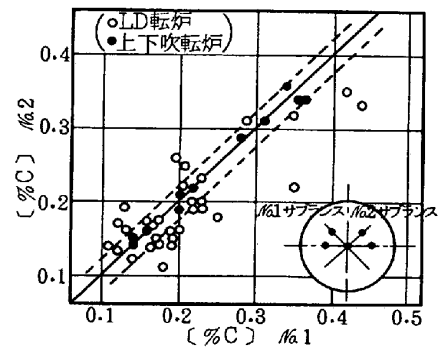


図7. 吹止[C]の不均一性

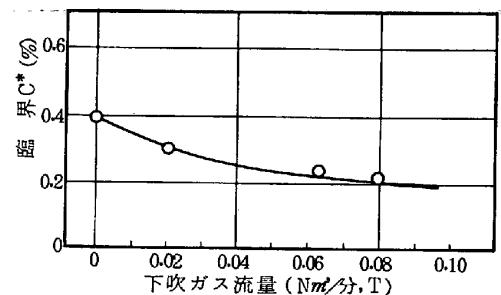


図8. 臨界Cと下吹ガス流量の影響

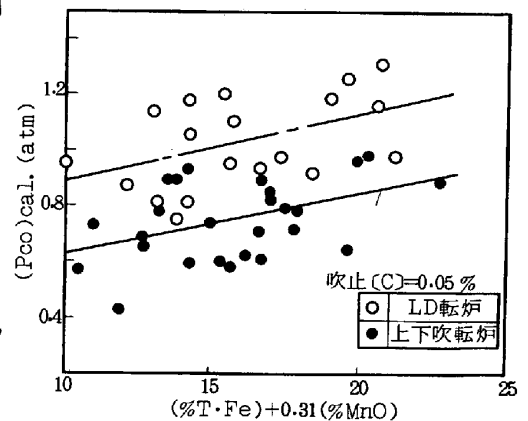


図10. LD転炉及び上下吹転炉における (Pco)cal.

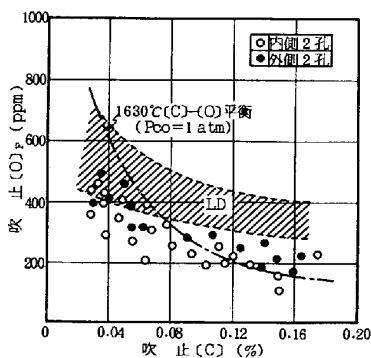


図11. 下吹羽口位置による[C]-[O]の関係

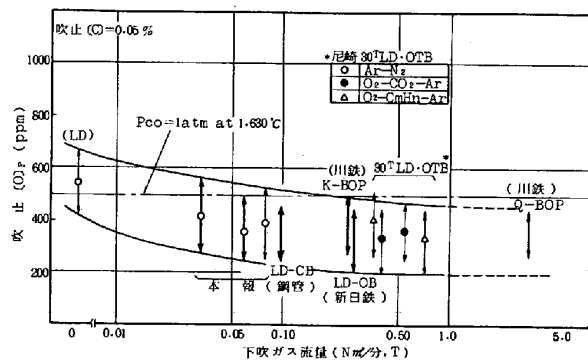


図9. 吹止[O]_Fと下吹ガス流量の関係

5. 羽口耐火物技術

上下吹転炉における炉底の羽口寿命を支配する要因としては、ガス吹込み技術、羽口耐火物の材質と構造及び炉底保護対策（スラグコーティング等）が挙げられる。当社は、特にSA羽口の開発及び吹込み技術の適正化により、溶損量を安定して0.6mm/CH以下に低減し、1炉代連続操業（1000 CH以上）を達成した。更に、当社開発による多点同時測定型の特殊熱電対（FMセンサー⁴⁾）を当上下吹転炉に適用し、正確な耐火物侵食量測定技術を確立した。その概念図を図12に示す。図13のFMセンサーによる侵食量の経時変化から明らかなように、1炉代完了後の実測値とセンサー表示値とは±10mmの範囲で極めて良く一致し、精度の高いことが実証された。また、当技術は羽口近傍耐火物内の温度履歴及び熱影響領域の解明、並びにマッシュルームの生成状況及び耐火物内の熱応力分布の解析にも適用できるなど有意義な技術である。

6. スラグレス吹錬操業への応用例

将来の溶銑予備処理技術の実用化を前提とした新精錬プロセスを検討するため、スラグレス吹錬の特性を調査した。その結果、酸素効率の向上、Mn歩留の向上、溶鋼の低酸素化等、優れた冶金特性が明らかになった。ここでは、その一例として図14にスラグレス吹錬時の鋼中酸素の挙動を示す。従来の上下吹法では $(O)_T / (O)_F$ の比が1.5~2.0であるのに対して、スラグレスではその比が1.0に近いという結果が得られた。これは、スラグレス吹錬時の溶鋼中には介在物酸素が極めて少ないことを意味しており、合金脱酸剤の歩留向上のみならず、清浄鋼の溶製にもスラグレスが有望であることを示唆している。

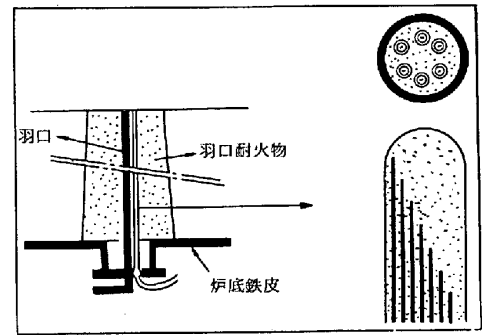


図12. FMセンサー概念図

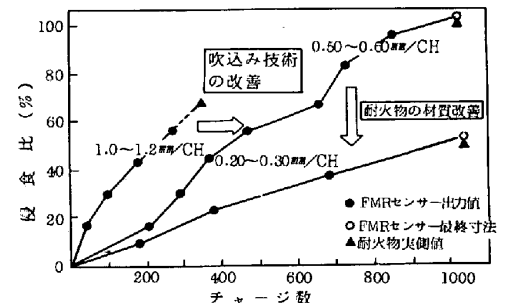


図13. 侵食量の経時変化

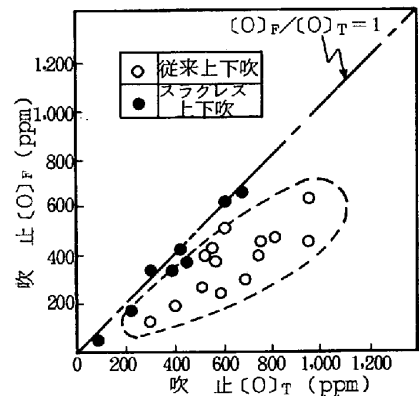


図14. 吹止 $(O)_T$ と $(O)_F$ の関係

7. 結 言

当社の不活性ガス下吹による上下吹転炉法は、SA羽口の開発と羽口設計の適正化により、0.01~0.10Nm³/分、Tの安定した広範囲流量制御を可能とし、吹錬の汎用性に富む優れた技術として確立された。その結果、0.10Nm³/分、T以下の下吹ガス流量域において、ガス吹込みパターンの適正化を図り、低炭素鋼から高炭素鋼に至る安定製造技術を確立し、オンライン操業を実施中である。また、羽口耐火物の侵食についても、吹込み技術、耐火物技術及び侵食量監視技術に関する広範な技術開発により、上吹転炉と同等の寿命を確保することが可能になった。なお、近い将来には、溶銑予備処理技術の実用化が想定されることから、スラグレス吹錬下における下吹ガス攪拌強化の必要性に種々な検討を試み、多くの有益な知見を得た。

〔参考分献〕

- 1) 石橋ら；鉄と鋼，Vol. 65(1979) A133
- 2) 青木ら；学振19委製鋼第3分科会，昭和55年9月
- 3) 喜多村ら；学振19委製鋼第3分科会，昭和56年10月
- 4) 第77回計測部会(1981)住金(和歌山)