

討16 上底吹き転炉における混合ガス吹錬法の開発

川崎製鉄㈱技術研究所 ○竹内秀次, 加藤嘉英
 水島製鉄所 奥田治志, 武 英雄
 千葉製鉄所 山田純夫

1. 緒言

底吹き転炉の実用化を契機として各種の上底吹き転炉が開発された。これらの転炉は、炉内の冶金反応を平衡状態に近づける点で多大の効果が認められた^{1),2)}。本研究では、炉内の冶金反応の平衡条件を変更することを目的として、不活性ガスと純酸素ガスからなる混合ガス（以下、単に混合ガスと称す）を上底吹き転炉に適用し、炉内のCOガス分圧を低下して優先脱炭を図る混合ガス吹錬法の開発について述べ、溶鋼中炭素[C]、溶鋼中酸素[O]の挙動を速度論的に考察する。

2. 普通鋼吹錬への適用

2-1. 5トン試験転炉での極低炭素鋼溶製実験³⁾ 現行の極低炭素鋼溶製プロセスにおける真空脱炭処理の省略あるいは処理軽減を目的とし、上底吹き転炉(LD-KG)で上吹き混合ガスによる極低炭素鋼溶製実験を行った。上吹きランスからの吹錬ガスは、[C]>0.02%では純酸素、[C]<0.02%では混合ガスであり、同時に炉底羽口から攪拌用ガスとして0.1~0.5 Nm³/min・tのArガスを供給した。混合ガス中の酸素ガス比率は0~6.7%、溶鋼温度は1630~1730℃とした。

実験結果の代表例をFig.1に示す。混合ガス吹錬に移行後、12分で[C]=18ppmが得られ、この時のスラグ中(T.Fe)は34%であった。

吹錬中の[C]と[O]の関係をFig.2に示す。[C],[O]は、学振推奨値⁴⁾が[C]<0.1%でも適用できるとして求めた $P_{CO}+P_{CO_2}=0.1$ atmと平衡する濃度まで低下している。ただし、[C],[O]の関係におよぼす酸素とArの混合比の影響は明確でない。実績の脱炭量とAr流量から求めた計算 $P_{CO}+P_{CO_2}$ は0.003~0.005 atmであり、ガス/メタル界面の[C]濃度は非常に小さいもの(<1ppm)と推算される。このため、極低炭素濃度域まで脱炭反応の推進力が大きく保持され、過剰の鉄酸化を抑え効率よく脱炭が進むと考えられる。

脱炭反応を1次式で整理

した時の脱炭速度定数と、底吹きAr流量 Q_{Ar} との関係係をFig.3に示す。本実験では、次の関係が得られた。

$$K_c = \frac{k_f \cdot A}{V} = 0.15Q_{Ar}^{0.33} \dots(1)$$

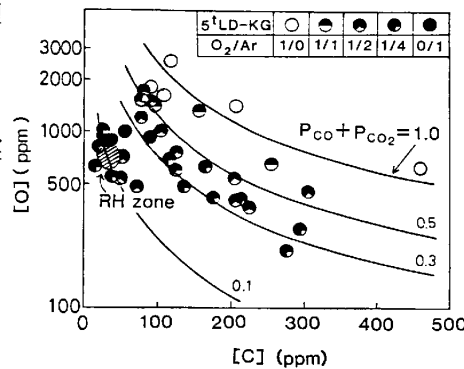


Fig.2 Relationship between [C] and [O].

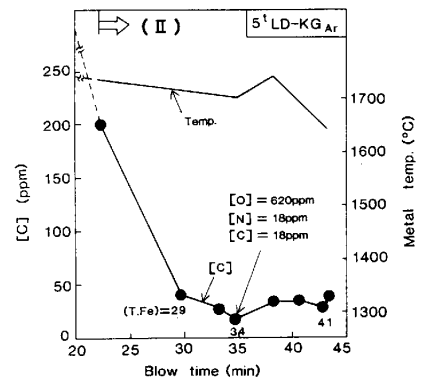


Fig.1 Change in temperature and [C] content.

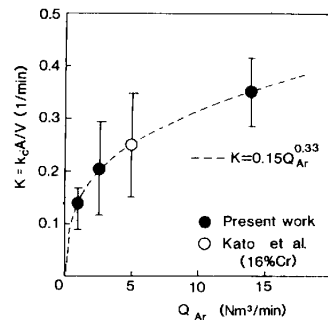


Fig.3 Relationship between volumetric coefficient for mass transfer and gas flow rate (5t LD-KG).

2-2. 250トン上底吹き転炉(K-BOP)での混合ガス吹錬⁵⁾

低 P_{CO} 低下および吹錬末期の攪拌力強化のために、当社水島製鉄所250トンK-BOPでは、[C]≤0.1%で混合ガス底吹き吹錬を行っている（上吹き純酸素）。Fig.4に示すように底吹きガスに酸素のみを用いる場合には、脱炭酸素効率の低下に従いCOガス発生速度が減少し、鋼浴攪拌力が低下するのに対し、混合ガスの場合には低[C]濃

度域まで脱炭酸素効率および攪拌力を高く保つことができる。

底吹き攪拌用ガスとして少量の不活性ガスを用いる LD-KG 転炉と異なり、多量の混合ガスを用いる K-BOP での吹錬では、 P_{CO} 低下の効果に加えて上述の攪拌力増加の効果も低[C]濃度域での優先脱炭に大きく寄与している。この2つの効果により、Fig. 5 に示すように、[C]濃度の低下に伴う(T・Fe)濃度の上昇は、通常の純酸素のみの吹錬と比較して混合ガス吹錬の方が小さい。図中の矢印は、同一ヒートの混合ガス吹錬(2分間)前後の移行を示す。

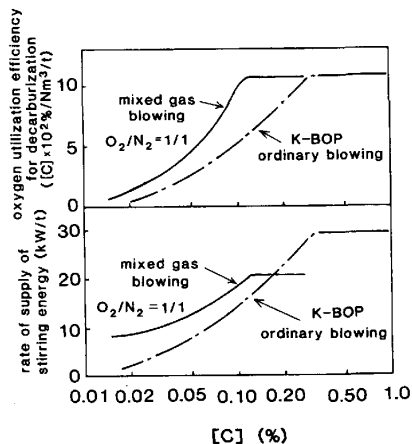


Fig. 4 Change in oxygen utilization efficiency for decarburization and rate of supply of stirring energy.

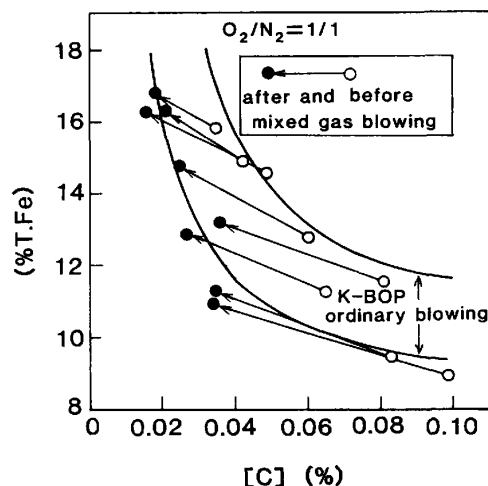


Fig. 5 Relationship between [C] and (T・Fe) before and after mixed gas blowing.

2-3 混合ガス吹錬時の脱炭反応の速度論的検討

混合ガス吹錬時の[C]・[O]濃度の挙動を説明するために、以下の脱炭速度式と酸素濃度増加速度式を導入する。(3)式は[O]の物質収支を示し、スラグからの移動速度(右辺第1項)と脱炭反応による消費速度(同第2項)との和が、[O]濃度増加速度と等しいとする。一方、ガス/メタル界面への[C]と[O]の移動によりCOガスが発生する時の化

$$-\frac{d[C]}{dt} = \frac{k_c \cdot A^{G/M}}{V} \cdot ([C] - [C]_e^{G/M}) \dots (2) \quad \frac{d[O]}{dt} = \frac{k_o \cdot A^{S/M}}{V} \cdot ([O]_e^{S/M} - [O]) + \frac{16}{12} \frac{d[C]}{dt} \dots (3)$$

学量論関係を満足する条件として(4)式が導びかれる。(3)式の $[O]_e^{S/M}$ はスラグ中 a_{FeO} と平衡する[O]

$$\frac{1}{12} \cdot \frac{k_c \cdot A^{G/M}}{V} \cdot ([C] - [C]_e^{G/M}) = \frac{1}{16} \cdot \frac{k_o \cdot A^{S/M}}{V} \cdot ([O] - [O]_e^{G/M}) \dots (4)$$

濃度,(4)式の $[C]_e^{G/M}$ ・ $[O]_e^{G/M}$ は $P_{CO} + P_{CO_2}$ と平衡する[C]・[O]濃度として求められる。したがって $P_{CO} + P_{CO_2}$ を時間の関数として与えれば、(2)~(4)式および界面での平衡条件式から物質移動容量係数をパラメータとして[C]・[O]濃度の経時変化を求めることができる。

Fig. 6は極低炭素鋼吹錬時の[C]・[O]の関係に対し、 $[C] \approx 0.03\%$ で $P_{CO} + P_{CO_2}$ を0.7から0.005 atmに急減させた時の計算結果で、パラメータの異なる2例について示す。 $P_{CO} + P_{CO_2}$ を低下させる、すなわちArによりCO+CO₂を希釈すると、脱炭と同時に脱酸が起こることが計算から示唆される。この挙動は、CO-CO₂-Arガスによる浮揚溶解装置を用いた天野らの研究⁶⁾でも確認されている。本実験では、屈折点を持つ計算曲線のような挙動は確認できなかったが、(2)~(4)式を用いた計算により、実績の[C]・[O]の推移を定性的に説明できた。

Fig. 7にK-BOPでの混合ガス吹錬時の[C]・[O]の関係と計算値(破線)との比較を示す。また、図中の実線は通常吹錬時の回帰曲線である。計算結果は、混合ガス吹錬による[O]濃度の低下傾向をよく説明できる。なお、Fig. 7の計算では $P_{CO} + P_{CO_2}$ は、定数とせず、脱炭量と不活性ガス流量とから

計算した値を用いた。

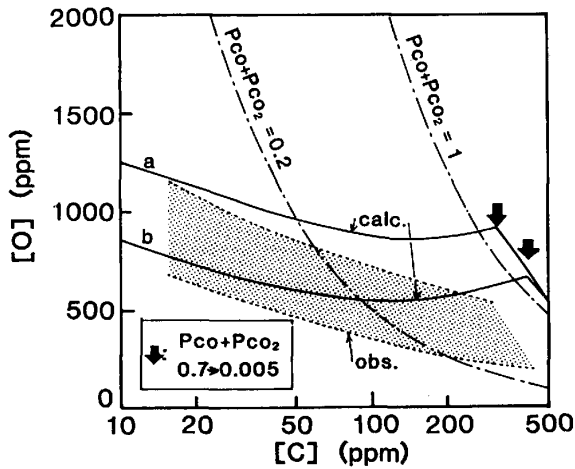


Fig. 6 [C]-[O] relation calculated by a decarburization model.

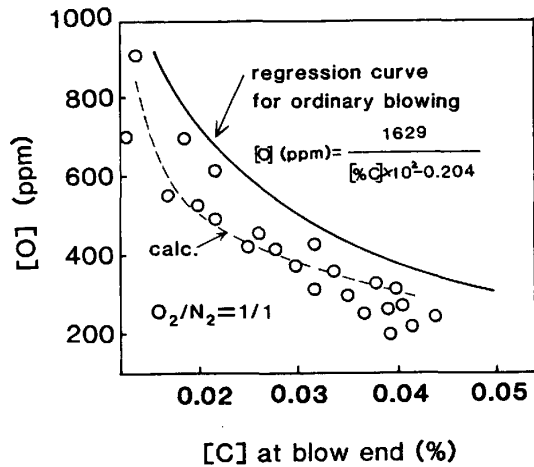


Fig. 7 Comparison of [C] and [O] contents between observation and calculation.

3. ステンレス鋼吹錬への応用 (5トン試験転炉での実験)⁷⁾

ステンレス鋼の脱炭吹錬時間の短縮を目的として、不活性ガスの供給方法が異なる4プロセスについて脱炭速度の容量係数と混合ガス流量との関係を比較した。

4プロセスとは、混合ガス上底吹き(A法)、混合ガス底吹き(B法)、混合ガス上吹き(C法)、酸素上吹き+不活性ガス底吹き(D法)である。

実験結果をFig. 8に示すが、同一ガス流量の時、A法が最も容量係数が大きく、脱炭酸素効率が高い。これは、反応界面を底吹き気泡界面と上吹き火点領域に分離し、それぞれの領域で P_{CO} を低下したことによると考えられる。

以上のように、脱炭速度の容量係数の検討から、A法によればB法と同程度にクロム酸化を抑制しつつ、B法より短時間で脱炭吹錬が可能となったことが明らかとなった。

4. 結言

上底吹き転炉での混合ガス吹錬の適用例として、5トンLD-KG転炉での極低炭素鋼溶製実験、250トンK-BOPでの(T・Fe)制御吹錬、5トンK-BOPでのステンレス鋼の混合ガス上底吹き吹錬の結果を示し、前2者については脱炭モデルにより実績[C]、[O]推移を説明し、後者については、脱炭速度の容量係数を比較することにより各種吹錬方法の比較を行った。

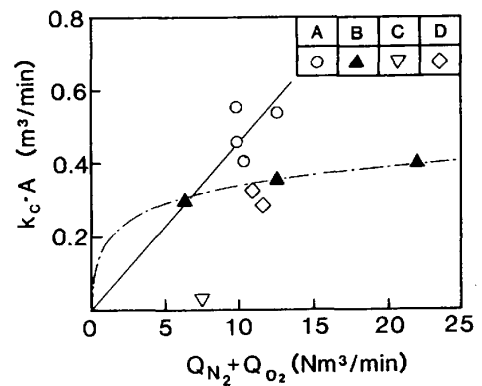


Fig. 8 Relationship between volumetric efficiency for mass transfer and gas flow rate (5t K-BOP).

記号の説明 k_c : [C]の物質移動係数, k_o : [O]の物質移動係数, A: 反応界面積, V: 溶鋼体積
添字 G/M: ガス/メタル界面, S/M: スラグ/メタル界面, e: 界面での平衡値

参考文献

1) 齊藤ら: 鉄と鋼, 68(1982), A41
2) 甲斐ら: *ibid.*, 68(1982), p1947
3) 原田ら: *ibid.*, 70(1984), S262

4) 学振-19委: 「製鋼反応の推奨平衡値」(1968)
5) 奥田ら: 鉄と鋼, 69(1983), S1015
6) 天野ら: *ibid.*, 64(1978), p1124
7) 加藤ら: *ibid.*, 69(1983), S255