

高速溶銑予備処理と直結した転炉レススラグ吹錬における Mn 分配平衡

田畑 芳明*・寺田 修*・長谷川輝之*
 菊地 良輝*²・河井 良彦*²・村木 靖徳*

Manganese Partition Equilibrium in Less Slag Blowing at BOF Linked to High Speed Dephosphorization of Hot Metal

Yoshiaki TABATA, Osamu TERADA, Teruyuki HASEGAWA,
 Yoshiteru KIKUCHI, Yoshihiko KAWAI and Yasunori MURAKI

Synopsis :

In Keihin Works low phosphorous hot metal has been obtained stably in large quantities, after improving operational conditions at hot metal dephosphorizing station.

Optimum conditions of less slag blowing at BOF using pretreated hot metal, were also studied, in particular, on Mn partition between slag and metal. Total process of hot metal dephosphorization and less slag blowing which contributed to cost saving was established.

The following results were obtained by the study of metallurgical characterization of hot metal dephosphorization and less slag blowing.

(1) (%T. Fe) depends on top oxygen flow rate and bottom stirring. Reduction of top oxygen flow rate and increase of bottom stirring are important for reducing (%T. Fe).

(2) Comparing slag oxygen potential with metal oxygen potential, the former is higher than the later. But its difference becomes to be small as decreasing the carbon content in metal. Mn partition ratio between slag and metal apparently depends on intermediate oxygen potential between those of slag and metal.

Key words : steelmaking; hot metal dephosphorization; less slag blowing; manganese equilibrium; regular solution model.

1. 緒 言

オイルショックを契機として、省資源、省エネルギーの要求が高まり、また品質上からも高級化の要求が厳しくなった。このような状況のもと、溶銑予備処理を用いた新製鋼プロセスの工業化ニーズがたかまり、高炉各社で溶銑予備処理-レススラグ吹錬技術の開発が精力的に行われた^{1)~7)}。この結果、このプロセスが実用化され現在では、製鋼プロセスの主流となっている。京浜製鉄所においても、大型高炉 1 基から出銑される溶銑を全量処理できる溶銑予備処理設備を昭和 61 年 11 月に導入し、溶銑予備処理-レススラグ吹錬プロセスを確立している⁶⁾⁷⁾。

溶銑予備処理設備は、建設段階より高速処理するため

の設備的工夫がなされており、さらに稼動後も送酸ランスの改造やフラックス配合^{8)~10)}及び鍋輸送方法等の見直しを行った。その結果、高速かつ安定して大量の低りん溶銑が得られ、転炉では脱りんを目的としない吹錬が可能となった。また、同一転炉で通常吹錬およびレススラグ吹錬が混在して行われると炉内のりん汚染により、転炉のスラグボリュームが増大することを懸念し、転炉をレススラグ吹錬、通常吹錬それぞれに専用化している。

新製鋼プロセスの利点は脱りん機能を冶金的に有利な溶銑段階で行うことにより、転炉では極少量のスラグでの吹錬が可能となり高 [C] 域で吹き止めることができるようになったことである。さらに熱容量が許せば Fe、Mn 等の鉱石還元も行える。この結果、近年の鋼の高級

平成 2 年 9 月本会講演大会にて発表 平成 2 年 3 月 9 日受付 (Received Mar. 9, 1990)

* NKK 京浜製鉄所 (Keihin Works, NKK Corporation, 1-1 Minamiwatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210)

*² NKK 鉄鋼研究所 (Steel Research Center, NKK Corporation)

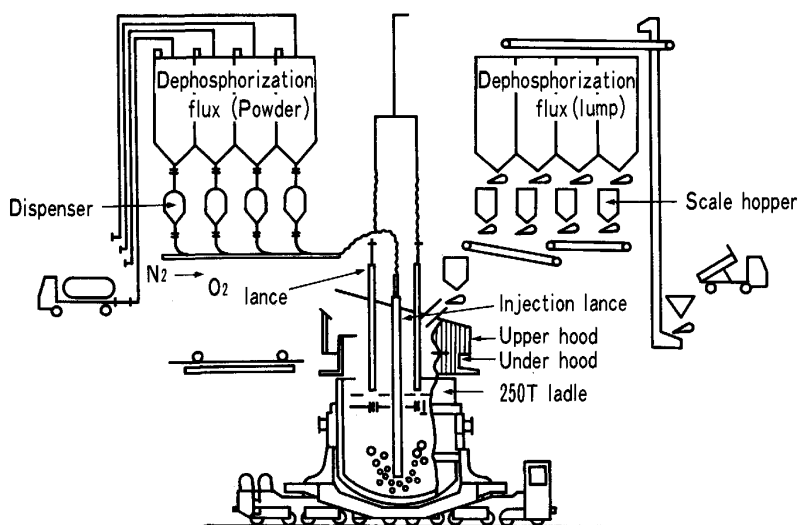


Fig. 1. Schematic view of dephosphorization station.

化にともなう低りん鋼の安定溶製，発生スラグ量の低減に対し大きなメリットを生んだが，コスト低減の観点からは，レススラグ吹錬での Mn 歩留りの向上が最も重要と考えられる。

転炉の終点 [Mn] は，装入 Mn 量，スラグボリューム及び，Mn 分配比で決まる。転炉で高 Mn 歩留りを得るためには，スラグボリュームを低減し Mn 分配比を下げるのが重要である。スラグボリュームは，溶銑予備処理による低りん化，転炉のレススラグ吹錬専用炉化により大幅に低減されておりさらに低減する余地は少ない。従って，Mn 分配比を低減することが重要であり，そのためには，塩基度の適正化や酸素ポテンシャルの低減が必要である。塩基度についてはフラックスの配合をコントロールするのみであり比較的容易である。酸素ポテンシャルは吹錬条件（送酸条件，底吹き攪拌力，スラグボリューム等）により左右されることは多くの文献^{11)~13)}により知られているが，Mn 分配比がスラグ側，鋼浴側のどちらの酸素ポテンシャルに支配されているかは十分には明らかにされていない。そこで，本報では，高速溶銑予備処理とレススラグ吹錬の特性について述べるとともに，転炉終点での Mn 平衡がどちらの酸素ポテンシャルで支配されているかについて検討した。

2. 溶銑予備処理及び転炉レススラグ吹錬プロセスの特徴

2.1 溶銑予備処理の特徴

京浜製鉄所は，大型の高炉 1 基からの出銑量について処理可能な予備処理設備を有している。溶銑は全量樋上で脱珪されており，脱珪後の溶銑は 1 基の脱りん処理設備で処理を行っている。また，溶銑脱りん処理は溶

銑輸送鍋で行っており，攪拌が十分行われるため，比較的高温でも低りんの溶銑を得ることができる。

Fig. 1 に設備概要を示すが，酸素吹付け用のランス（送酸ランスと称する）を 2 本設置しトータル 5 000 Nm³/h の送酸を可能とした。また，粉体フラックスの供給系は溶銑成分等の条件により，最適な配合ができるように四つのディスペンサーを設置している。塊原料についても同様に四つのホッパーを設置した。さらに，ランス交換による時間ロスを低減するために，自動ランスハンドリング装置を導入し 5 min 以内で交換可能とした。また，操業ではレススラグ吹錬滓の有効利用，動圧の低減等の送酸条件の適正化，溶銑輸送鍋の運行方法や運用方法の適正化を行い，現状では 20 min で処理可能である。

2.1.1 溶銑予備処理の冶金特性

低 [P] の溶銑を短時間処理で得るためには，処理後の P 分配比やりんの挙動を知る必要がある。そこで，それらの特性について以下に述べる。

Fig. 2 に塩基度と P 分配比の関係を示す。塩基度 4~5 の範囲で P 分配比は最大値となっている。すなわち，塩基度の上昇に伴い P 分配比は上昇するが塩基度 5 を超えると滓化不良となっているため再び低下する。従って，実操業においては塩基度が 4.5 を超えないようにコントロールしており，そのため溶銑の [Si] からスラグボリュームを計算しフラックスの使用量を決定している。

Fig. 3 に，酸素原単位と脱りん量の関係を示す。脱りん量は酸素原単位の増加とともに増加している。[P] 0.012 % を得るために現状では酸素原単位は 8.0 Nm³/t としている。ただし，ここで酸素原単位とは気体酸素および酸化物中の酸素分の総計の単位を示し，脱珪に消費

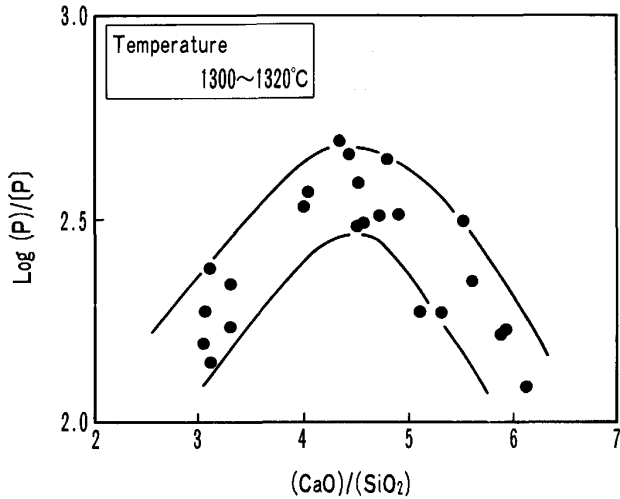


Fig. 2. Relationship between phosphorous partition ratio and $(CaO)/(SiO_2)$.

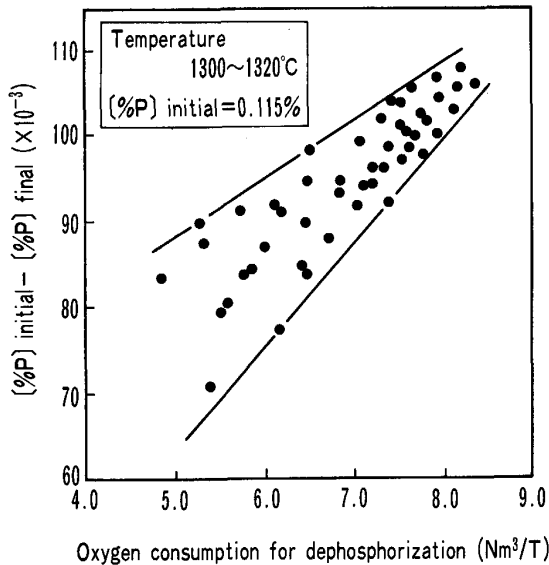


Fig. 3. Relationship between amount of phosphorous removal and oxygen consumption.

される酸素を含んでいない。

Fig. 4 には処理後温度と処理後 [P] の関係をフラックス原単位をパラメーターにして示す。処理後温度とフラックス原単位によって処理後の [P] はきまる。そこで、転炉で溶製する鋼種に応じて、溶銑予備処理では最適な目標を決め操作を行っている。

また、前述のごとく京浜製鉄所の溶銑予備処理は高速処理を要求されており、そのため高速処理を行うにあたって、最も弊害になったのはスピットングによるフードへの地金付きであった。この対策としてレススラグ吹錬滓の予備処理への有効利用と送酸ランスの変更を行った。レススラグ吹錬滓は、転炉でレススラグ吹錬を

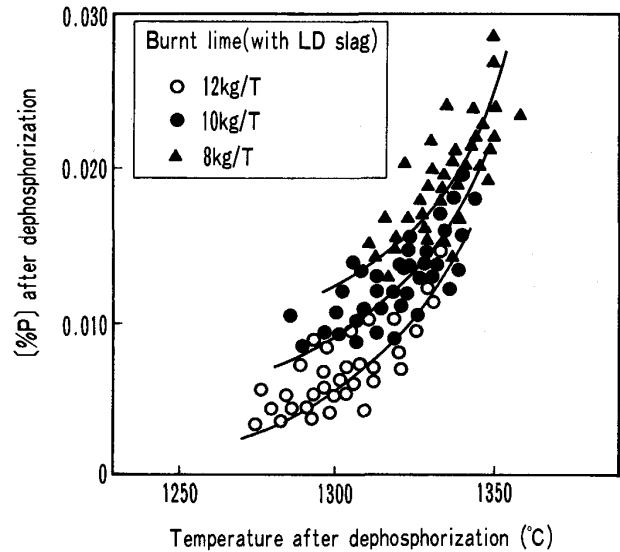


Fig. 4. Influence of temperature and flux consumption for phosphorous content after dephosphorization.

行った際に発生するスラグであり、(P) が低く塩基度も高いスラグである。そのスラグは一度滓化しているため、溶銑しやすく予備処理初期に使用することでスピットングの防止ができる。さらに、フラックスの低減にも効果があるので現状では、レススラグ吹錬滓を通常吹錬滓と分類して回収し、12 kg/t 使用し、フラックス原単位を 6 kg/t 削減した。

また、当初、送酸ランスは消耗型の耐火物製を使用していたが、ランス先端の形状コントロールが困難であり溶銑表面での動圧をコントロールすることができなかった。そこで動圧、酸素流速のコントロールをおこなうためランスを水冷化し、さらに多孔化し、同一酸素供給速度でも動圧を低下させ、スピットングをおさえる送酸方法を確立した。その結果、酸素供給速度を増加させることができ、処理時間を短縮することが可能となり、現状では短時間、高速処理を達成し安定して大量かつ [P] の低い溶銑 (処理後 % [P] = 0.012) を転炉へ供給できるようになった。

2.2 レススラグ吹錬の特徴と冶金特性

2.2.1 レススラグ吹錬の特徴

溶銑脱りん処理により、大量かつ、安定した低りん溶銑が得られるようになり、転炉では熱的余裕があれば Mn 鉱石還元も可能なレススラグ吹錬となった。Table 1 には京浜製鉄所転炉の操業条件を示すが、転炉の運用は 2 基のうち 1 基をレススラグ吹錬専用炉としレススラグ吹錬と通常吹錬との混在を防止しスラグボリュームの低減を計り Mn 歩留りの向上を図っている。

Table 1. Operating conditions of BOF in Keihin Works.

Type of BOF	Top and bottom blowing converter (NK-CB)
Kind of bottom tuyere	Multiple hole plug (MHP)
Kind bottom gases	CO ₂ , N ₂ , Ar
Flow rate of bottom gas	0.02~0.15 Nm ³ /min·t

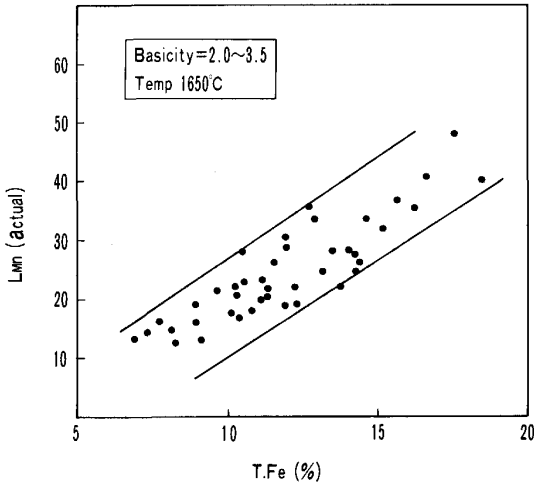


Fig. 5. Relationship between manganese partition ratio and (T.Fe) in slag.

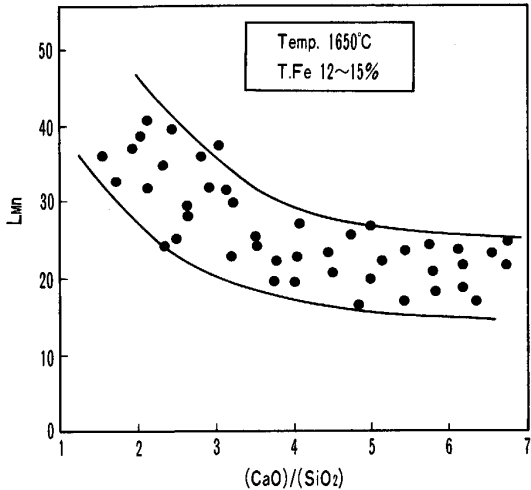


Fig. 6. Relationship between manganese partition ratio and (CaO)/(SiO₂).

2・2・2 レススラグ吹錬の冶金特性

Fig. 5 に T.Fe と Mn 分配比の関係を示す。T.Fe の上昇とともに Mn 分配比は上昇する。従って、高 Mn 歩留りを得るためには T.Fe を下げる技術が重要である。T.Fe を下げる技術については、吹錬末期に [C] の低下とともに送酸速度を低下させること、及び底吹き攪拌力アップ等が従来より知られている^{1)~3)14)~16)}。T.Fe の低下とともに鋼中の酸素レベルも低下するが、Mn 歩留りがどちらの酸素レベルに支配されているかは

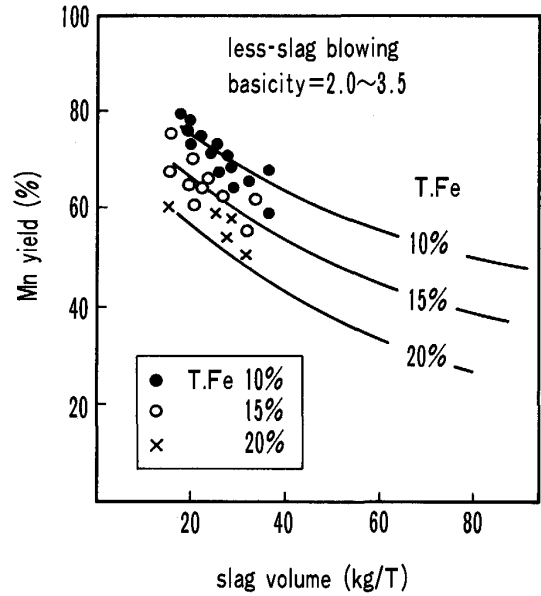


Fig. 7. Relationship between manganese yield and slag volume.

後で考察する。

Fig. 6 に塩基度と Mn 分配比の関係を示すが、低塩基度側では Mn 分配比は増大し、塩基度 3 以上の領域ではほぼ Mn 分配比は一定となる。これは、塩基度の上昇とともに MnO の活量係数が小さくなるためと考えられる。従って、スラグボリュームと Mn 分配比から計算すると最も Mn 歩留りが高くなる領域は塩基度 3 の近傍である。

Fig. 7 にスラグボリュームと Mn 歩留りの関係を示すが、スラグボリュームの増大とともに Mn 歩留りは急激に低下する。前節で述べたごとく京浜製鉄所においては、転炉をレススラグ吹錬、通常吹錬それぞれに対し専用炉化し連続吹錬化を図っている。

Fig. 8 に連続吹錬をおこなったときの Mn 歩留り向上に対する効果を示す。この図よりレススラグ吹錬 1 チャージ目と 3 チャージ目以降を比較すると Mn 歩留りは 15% 向上することがわかる。すなわち、Fig. 9 にその時の P バランスを示すが、約 23% 装入 P が減少し、その結果、約 10 kg/t のスラグボリュームを減少させることができたためである。

Fig. 10 に、吹錬末期の送酸速度及び底吹き攪拌力を変化させたときの終点 [C] と T.Fe の関係を示す。吹錬末期に送酸速度を低下させ底吹き攪拌力を増加させることにより、T.Fe を低減させることができる。すなわち、[C] の低下とともに送酸速度を低下させることにより余剰酸素を低減し、さらに強攪拌することにより、FeO + [C] = Fe + CO の反応が促進されたものと考え

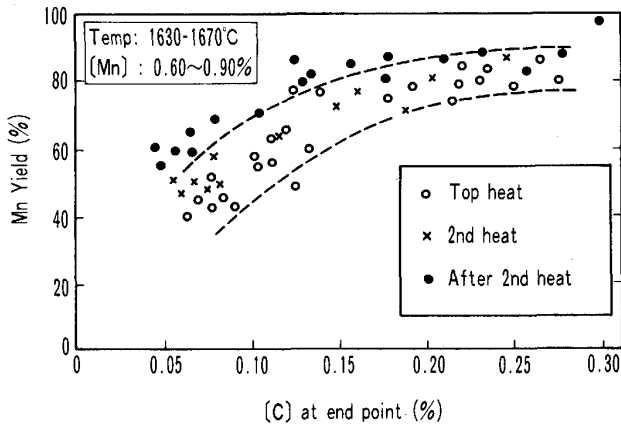


Fig. 8. Effect of less slag blowing continuity on manganese yield.

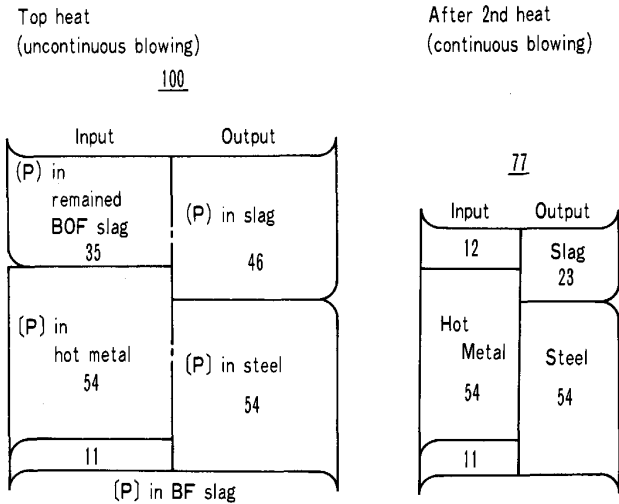


Fig. 9. Phosphorous balance at less slag blowing.

られる。また、Fig. 11 に上吹き酸素 $1.7 \text{ Nm}^3/\text{min}\cdot\text{t}$ 、底吹き攪拌ガス流量 $0.15 \text{ Nm}^3/\text{min}\cdot\text{t}$ の場合を例としてスラグボリュームが T.Fe に与える影響を示すが、高 [C] 側ではあまり大きな差は見られないが、低 [C] 側ではスラグボリュームの少ないほうが、T.Fe が高くなっている。すなわち、火点で生成した FeO は、高 [C] 側では還元速度が速く、低 [C] 側では遅いためスラグに蓄積され、蓄積量を同一とすれば、スラグボリュームの少ない方が T.Fe の濃度は高くなると考えられる。

一方、鋼中酸素活量 (a_o) と T.Fe の関係を Fig. 12 に示す。T.Fe と a_o には相関が認められるが、鋼中 [Mn] による差はみられない。また、Fig. 13 に終点 [C] と鋼中酸素活量 (a_o) の関係を示すが、低 [C] 領域ではほぼ $P_{CO} \leq 1$ のレベルであるが高 [C] 領域では P_{CO} が見かけ上高く計算される ($P_{CO} = 2.0 \sim 3.0 \text{ atm}$)。すなわち、高 [C] 領域はスラグの酸素ポテンシャルは

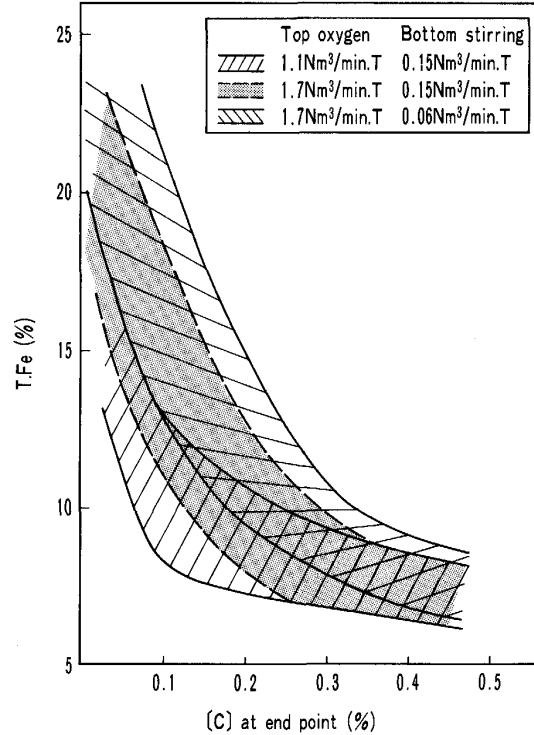


Fig. 10. Relationship between (T.Fe) in slag and [C] in steel.

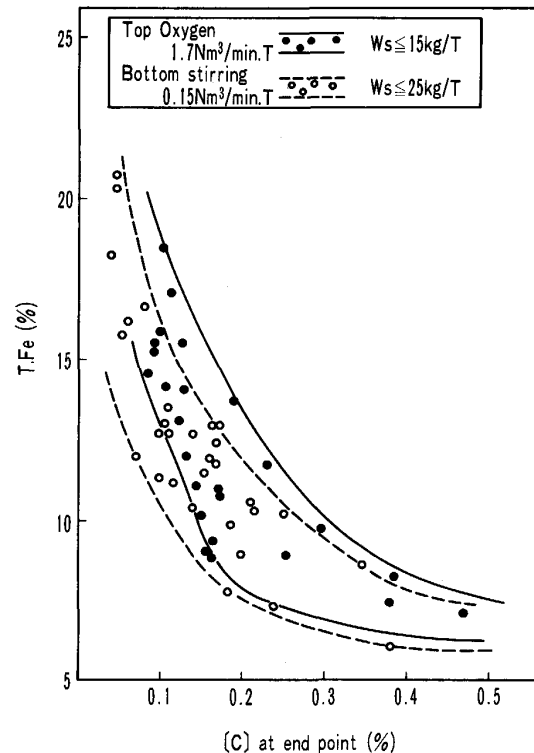


Fig. 11. Influence of slag volume for (T.Fe) in slag.

メタルよりも高いため、その影響をうけメタルの酸素は [C]-[O] 平衡より高くなっていると考えられる。

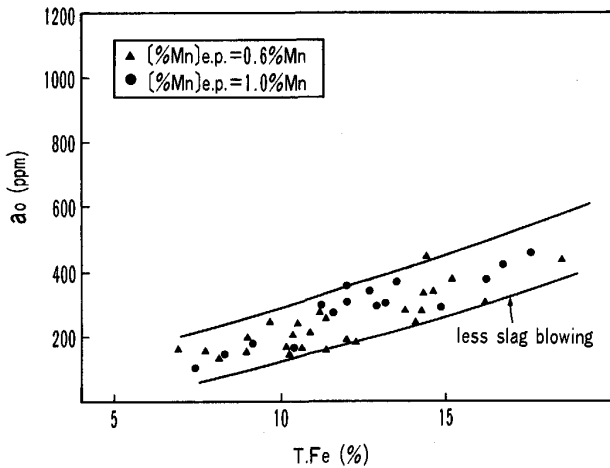


Fig. 12. Relationship between a_O in steel and (T.Fe) in slag.

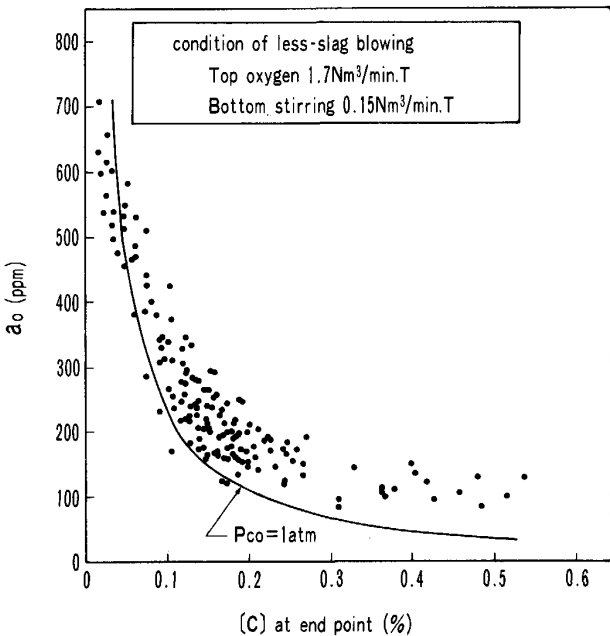


Fig. 13. Relationship between a_O in steel and [C] at end point.

従って、Fig. 10 で述べたごとく吹錬末期の送酸速度や底吹き攪拌ガス流量をコントロールすることで T.Fe をコントロール可能であるが、粒鉄やスラグの上吹きランスノズルへの差しこみによるトラブルや吹錬時間の延長を考慮して、操業上問題のない範囲で最も T.Fe が低くなる条件を選択し操業を行っている。

このように、Mn 歩留りは T.Fe、塩基度、スラグボリュームに依存しており、さらに温度に影響されている。Mn 鉱石を効率良く還元するためには、これらの諸因子について検討、改善を行うことが必要である。特に、Mn 分配を支配する酸素ポテンシャルを明らかにするこ

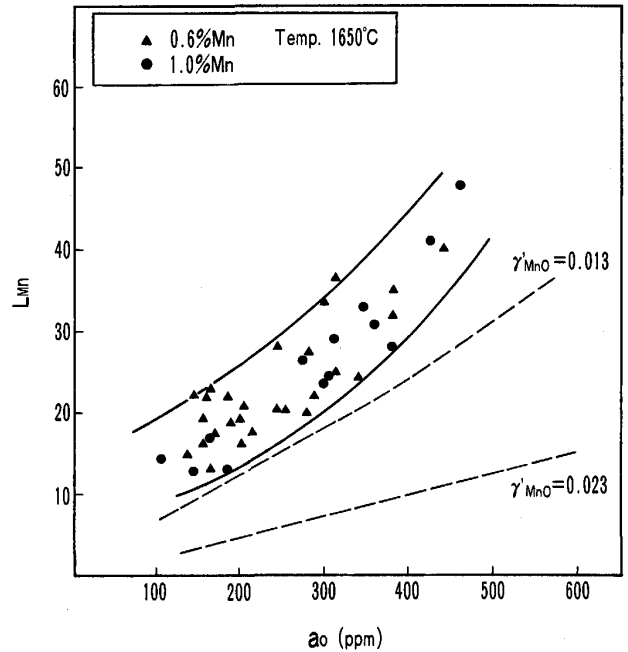


Fig. 14. Relationship between L_{Mn} and a_O in steel.

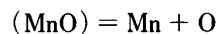
とは重要である。

3. 考 察

実績の Mn 分配比とメタル-スラグの酸素ポテンシャルとの関係性を求め Mn 分配比を支配する酸素ポテンシャルについて検討した。

3.1 メタルの酸素ポテンシャルと Mn 分配比との関係

Fig. 14 に実績の鋼中酸素活量 (a_O) と Mn 分配比 (L_{Mn}) の関係性を示す。また、図中の点線は $(MnO) = \frac{Mn}{O}$ の平衡式を想定して計算した L_{Mn} をしめす。ただし、Mn の平衡式は(1)式を用い、実績の温度および a_O 、[Mn]、スラグ成分を用いた。また、 γ'_{MnO} に関しては CaO-FeO-MnO 系の a_{MnO} の等活量線図¹⁷⁾ より求めたのと、水渡らが CaO-MgO_{sat}-SiO₂-Fe₂O-MnO-P₂O₅ 系で実績 γ_{MnO} と比較しほぼ一致した結果を得ている正則溶液モデルでの計算法¹⁸⁾ より求めたが、本スラグ系の場合 γ'_{MnO} はそれぞれ 0.013~0.021、0.013~0.023 と良く一致した結果を得たので、図中には 0.013 と 0.023 の 2 ケースを示した。



$$\log K = -12760/T + 5.64^{19)}$$

$$K = a_{Mn} \cdot a_O / a_{MnO}$$

$$\log (1/L_{Mn}) = -12760/T + 5.64 + \log \gamma'_{MnO} - \log a_O$$

$$L_{Mn} = (MnO)/[Mn] \text{ (ただし, } f_{Mn} = 1)$$

$$\gamma'_{MnO} = a_{MnO}/(\text{wt\% MnO}) \dots\dots\dots (1)$$

いずれの場合も、実績 L_{Mn} は、平衡値よりも高くなっている。すなわち、Mn 分配比は鋼中酸素とは非平衡状態であり、鋼浴より高い酸素ポテンシャルで規定されていると考えられる。そこで鋼浴より高い酸素ポテンシャルと考えられるスラグの酸素ポテンシャルについて検討した。

3.2 スラグの酸素ポテンシャルと Mn 分配比との関係

スラグの酸素ポテンシャルを計算するにあたっては、萬谷ら²⁰⁾が提唱している正則溶液モデルを用いた。レスラグ吹錬では高 (MnO) スラグであるため、 Mn^{2+} の相互作用エネルギーを考慮し、下記の (2), (3) 式より γ_{FeO} , $\gamma_{FeO_{1.5}}$ を計算し、(4) 式によりスラグと平衡する酸素ポテンシャルを求めた。

$$\begin{aligned}
 RT \ln \gamma_{FeO} (R. S.) &= -4460 (X_{FeO_{1.5}})^2 - 10000 (X_{SiO_2})^2 \\
 &- 7500 (X_{CaO})^2 + 8000 (X_{MgO})^2 - 7500 (X_{PO_{2.5}})^2 \\
 &+ 1700 (X_{MnO})^2 - 22260 X_{FeO_{1.5}} X_{SiO_2} \\
 &+ 10940 X_{FeO_{1.5}} X_{CaO} + 4240 X_{FeO_{1.5}} X_{MgO} \\
 &- 15460 X_{FeO_{1.5}} X_{PO_{2.5}} + 14500 X_{SiO_2} X_{CaO} \\
 &+ 14000 X_{SiO_2} X_{MgO} - 37500 X_{SiO_2} X_{PO_{2.5}} \\
 &+ 24500 X_{CaO} X_{MgO} + 45000 X_{CaO} X_{PO_{2.5}} \\
 &+ 9500 X_{MgO} X_{PO_{2.5}} + 16200 X_{MnO} X_{CaO} \\
 &+ 9700 X_{MnO} X_{SiO_2} + 14500 X_{MnO} X_{PO_{2.5}} \\
 &+ 10740 X_{MnO} X_{FeO_{1.5}} - 5100 X_{MnO} X_{MgO} \text{ (cal)} \\
 &\dots\dots\dots(2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RT \ln \gamma_{FeO_{1.5}} (R. S.) &= -4460 (X_{FeO})^2 - 700 (X_{MgO})^2 - 22900 (X_{CaO})^2 \\
 &- 13500 (X_{MnO})^2 + 7800 (X_{SiO_2})^2 + 3500 (X_{PO_{2.5}})^2 \\
 &- 13160 X_{FeO} X_{MgO} - 19860 X_{FeO} X_{CaO} \\
 &- 19660 X_{FeO} X_{MnO} + 13340 X_{FeO} X_{SiO_2} \\
 &+ 6540 X_{FeO} X_{PO_{2.5}} + 400 X_{MgO} X_{CaO} \\
 &- 29000 X_{MgO} X_{MnO} + 23100 X_{MgO} X_{SiO_2} \\
 &+ 11800 X_{MgO} X_{PO_{2.5}} - 14400 X_{CaO} X_{MnO} \\
 &+ 16900 X_{CaO} X_{SiO_2} + 40600 X_{CaO} X_{PO_{2.5}} \\
 &+ 12300 X_{MnO} X_{SiO_2} + 10300 X_{MnO} X_{PO_{2.5}} \text{ (cal)} \\
 &\dots\dots\dots(3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \log (Fe^{3+}/Fe^{2+}) &= 6.625/T - 2.77 + 0.25 RT \ln P_{O_2} \\
 &+ (RT \ln \gamma_{FeO} - RT \ln \gamma_{FeO_{1.5}})/4.575 T \\
 &\dots\dots\dots(4)
 \end{aligned}$$

本モデルで計算する時 Fe^{2+} , Fe^{3+} の存在比はスラグ組成、温度、酸素ポテンシャルに依存する。本報の場合スラグ組成と温度は実績値を用いるのでその存在比さえ決まれば酸素ポテンシャルを決めることができる。従来より転炉の終点段階では酸素ポテンシャルは 10^{-9} ~

10^{-11} のレベルであり²¹⁾, Fe^{2+} , Fe^{3+} の存在比は 9 : 1~7 : 3 と言われている²²⁾。また、水渡らの CaO - MgO_{sat} - FeO_x - SiO_2 - MnO - P_2O_5 系のスラグのデータ²³⁾ から Fe^{2+} , Fe^{3+} を求めたところ、塩基度の依存性が認められるが T.Fe 濃度の依存性は認められず $Fe^{3+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})=0.06\sim0.16$ が得られた。

さらに、後藤²¹⁾らの報告によると低炭域では、メタル-スラグの酸素ポテンシャルは、ほぼ等しい。そこで $Fe^{3+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})$ の値を 0.06~0.30 まで変化させ P_{O_2} を求めたところ 0.15 で低炭域でのメタル-スラグの酸素ポテンシャルはほぼ等しくなった。そこで、本報では、 $Fe^{3+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})$ の値を 0.15 として計算した。

0.15 という値は LD 転炉での報告値の下限に近く、すなわち、複合吹錬による攪拌強化の効果と考えられる。結果を [C] と対比して Fig. 15 に示す。同図には酸素メーターで実測した a_O および [C] と平衡する酸素ポテンシャルを (5), (6) 式で求め示した。

$$\begin{aligned}
 C + O &= CO(g) \\
 \log (K = P_{CO}/a_C \cdot a_O) &= 1160/T + 2.003^{18)} \\
 (P_{CO} = 1 \text{ atm}) \dots\dots\dots(5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1/2 O_2(g) &= O \\
 \log (K = a_O/P_{O_2}^{1/2}) &= 6070/T + 0.21^{18)} \\
 \dots\dots\dots(6)
 \end{aligned}$$

図のごとくメタル側の酸素ポテンシャルは [C] 0.04~0.5 % では、ほぼ [C]-[O] 平衡に近い。しかし、萬谷らのモデルから計算されるスラグの酸素ポテンシャルは [C] によらずほぼ一定であり、高 [C] 域では、メ

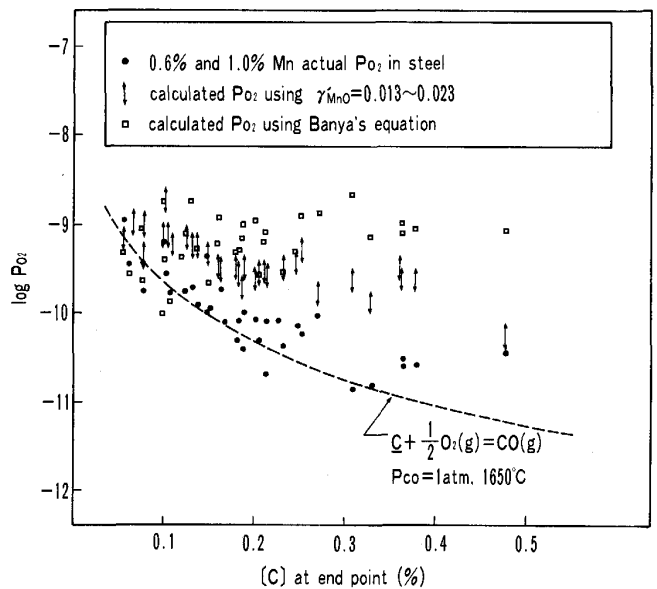


Fig. 15. Relationship between $\log P_{O_2}$ and [C] in steel.

タルの酸素ポテンシャルより高い。さらに、図中に示した Mn 平衡式で γ'_{MnO} の見積値を前述の検討した結果から 0.013~0.023 として計算される酸素ポテンシャルと比較すると、高 [C] 領域ではメタル、スラグの酸素ポテンシャルのレベルが大きく異なり、実績 Mn 分配平衡は両者の中間の酸素ポテンシャルで規定されていると考えられる。

4. 結 言

京浜製鉄所では溶銑予備処理においてフラックス、送酸速度、送酸ランスの変更を行い高速かつ安定して低りん溶銑が得られるようになった。また、転炉のレススラグ吹錬においても Mn 歩留りの向上を目的として塩基度、送酸速度、底吹き攪拌力等の適正化及び転炉のレススラグ吹錬専用化を行い溶銑予備処理-レススラグ吹錬の一貫体制を構築した。その結果溶銑予備処理では [P] 0.012 % の低りん溶銑を転炉に供給しレススラグ吹錬において低りん鋼の溶製や高 Mn 歩留りを達成し合理化に大きく寄与している。

また、本報ではレススラグ吹錬における Mn 分配特性について、スラグ、メタルの酸素ポテンシャルに着目して検討した。その結果以下の知見が得られた。

(1) 送酸速度、底吹き攪拌ガス流量、操業条件によりスラグとメタルの酸素ポテンシャルは支配されており、送酸速度の低減や強攪拌化を行うことが重要である。

(2) スラグとメタルの酸素ポテンシャルを比較すると、高 [C] 領域ではスラグの方が高いが、低 [C] 領域になるに従って、その差は小さくなり、[C]-[O] の平衡状態に近づく。スラグとメタルの Mn 分配を支配する酸素ポテンシャルは、メタルとスラグの酸素ポテンシャルの中間に位置する。

文 献

- 1) 山瀬 治, 池田正文, 福味純一, 滝 千尋, 山田健三, 岩崎克博: 鉄と鋼, **74** (1988), p. 270
- 2) 服部正幸, 稲葉東寛, 高本 久, 遠藤公一, 釘宮貞二, 米澤公敏: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 246
- 3) 加藤嘉英, 高橋幸雄, 桜谷敏和, 藤井徹也, 大宮 茂, 小山内寿: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 247
- 4) 松尾 亨, 深川 信: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 1092
- 5) 川崎正蔵, 青木松秀, 羽鹿公則, 折橋英行, 船岡洋一: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 1246
- 6) 田畑芳明, 豊田剛治, 梶谷英雄, 山上 諄, 石川 勝, 半明正之: 鉄と鋼, **73** (1987), S271
- 7) 村木靖徳, 小林周二, 梶谷英雄, 山上 諄, 石川 勝, 半明正之: 鉄と鋼, **73** (1987), S218
- 8) 田畑芳明, 新出 司, 小林周二, 山上 諄, 半明正之: 鉄と鋼, **73** (1987), S882
- 9) 田畑芳明, 新出 司, 小林周二, 豊田剛治, 山上 諄, 長谷川輝之: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 119
- 10) 村木靖徳, 石川博章, 小林周二, 豊田剛治, 山上 諄, 長谷川輝之: 鉄と鋼, **74** (1988), S165
- 11) 岸本康夫, 加藤嘉英, 桜谷敏和, 藤井徹也: 鉄と鋼, **75** (1989), p. 1300
- 12) 大河平和男, 田中 信, 平井正純: 融体精練反応の物理化学とプロセス工学 (1985), p. 245
- 13) 近藤 寛, 馬田 一, 山田博右, 浜上和久, 大谷尚史: 鉄と鋼, **71** (1985), S985
- 14) 青木伸英, 渡辺吉夫, 丸川雄浄, 城田良康, 興沼昌平: 鉄と鋼, **73** (1987), S217
- 15) 吉田克磨, 山崎 勲, 田中雅章, 青木伸英, 渡辺吉夫: 鉄と鋼, **73** (1987), S1013
- 16) 川本正幸, 丸川雄浄, 姉崎正治, 城田良康, 平田武幸, 樋口善彦: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 1243
- 17) Schlackenatlas (1981) [Verlag Stahleisen m. b. H.]
- 18) 水渡英昭, 井上 亮: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 533
- 19) 製鋼反応の推奨平衡値 (日本学術振興会製鋼第 19 委員会編) (1984)
- 20) 第 122・123 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1988), p. 1
- 21) 永田和宏, 中西恭二, 数土文夫, 後藤和弘: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 277
- 22) M. KAWAKAMI, K. S. GOTO and M. MATSUOKA: Metall. Trans., **11B** (1980), p. 463
- 23) 水渡英昭, 井上 亮: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 672