

討10

住友金属 小倉製鉄所 中谷元彦 川見 明
中央技術研究所 池田隆果 ○松尾 亨

I 緒 言

鋼中のS、Pの除去は製鋼における重要な命題である。このうちSについては炉外脱硫技術の進歩により〔S〕0.005%以下の極低硫鋼の溶製も可能となった。しかしながらPについては従来より主として転炉吹錬のみに依存しており、低磷鋼の溶製に対しては一般にダブルスラグ法が採用されている。しかしながらこの方法は転炉の生産性と鉄分歩留の低下という問題点を伴うものである。一方転炉で発生するスラグは鋼t当り100~150kgという膨大な量である。この転炉滓の有効利用法については種々検討がなされているが、いまだ際立ったものがない状態である。

そこで、熱力学的に脱磷に有利な低温の溶銑段階で予備的に脱磷することにより、低磷鋼の安定溶製および転炉滓問題の解決について検討した。以下本法の特長およびプロセスとして採用する場合の製鋼スラグバランスについて報告する。

II 実験方法

溶銑の炉外脱磷法を検討するに当り、規模の異なる3種類の実験を段階的に実施した。すなわち

- ①溶銑4kgをルツボ内で処理する実験（基礎実験）
- ②溶銑1tを取鍋内で処理する実験（1t実験）
- ③溶銑45tを取鍋内で処理する実験（実炉実験）

である。

実験方法は、溶銑に脱磷剤を添加しインペラーで攪拌するというものである。また1t実験および実炉実験では、処理による温度降下を防止するため、浸漬ランスによる少量の酸素ガスの吹込を併用した。

使用した脱磷剤は、転炉滓-酸化鉄系¹⁾（Aタイプ）および生石灰-酸化鉄系（Bタイプ）の2種類である。Aタイプは低塩基度スラグ（ $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0.5 \sim 1.0$ ）による脱磷で転炉滓問題解決を、Bタイプは比較的高塩基度スラグ（ $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1.5 \sim 3.0$ ）による脱磷で高い脱磷効果を期待したものである。なお必要な場合、媒溶剤として螢石を併用した。

実験条件、実験装置のうち実炉実験の場合のものを代表的に表1、図1に示す。

III 溶銑の炉外脱磷実験結果

1. 脱磷処理による溶銑の成分変化

本処理時の溶銑の成分推移の1例として基礎実験の結果を図2に示す。脱磷は〔Si〕、〔Mn〕の低下と共に進行するが脱炭は少ないことがわかる。実炉実験では温度調節のため酸素吹込みを行なった。しかしながら図3に示すように脱炭は少なく、90

表 1. 実炉実験条件

溶銑成分		Si: 0.36~0.90%, P: 0.091~0.158%	
脱 磷 剤	Aタイプ	転 炉 滓	20~30 kg/t-pig
		鉄 鉱 石	46~70 kg/t-pig
	Bタイプ	生 石 灰	28~40 kg/t-pig
		鉄 鉱 石	65~90 kg/t-pig
		螢 石	7~12 kg/t-pig
		攪 拌 方 法	インペラー
酸素吹込量	8~18 Nm ³ /t-pig		
処 理 温 度	1180~1410℃		
実 験 時 間	30~60 min.		

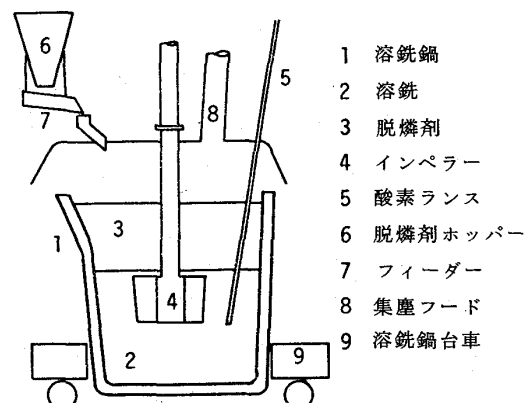


図 1. 実炉実験装置

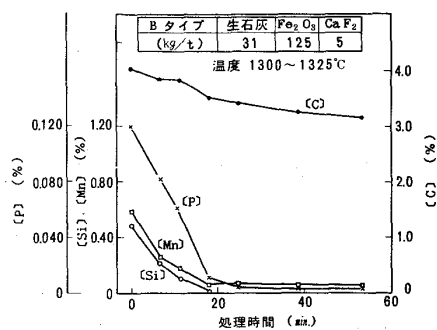


図2. 溶鉄の炉外脱磷処理中の成分推移（基礎実験）

%以上の高い脱磷率が得られた場合でも脱炭率は30%程度であった。また処理温度が低い場合程少ない脱炭で脱磷が進行した。

2. 脱磷におよぼすスラグ成分の影響

(1) 脱磷におよぼすスラグ塩基度の影響

図4にスラグ塩基度と処理後溶鉄〔P〕の関係性を脱磷剤の種類別に示す。塩基度が高い程処理後の溶鉄〔P〕を低くできることがわかる。Aタイプの脱磷剤を使用した塩基度0.5～1.0での脱磷では処理後溶鉄〔P〕を0.020～0.060%まで低下することができる。このように通常の製鋼精錬において脱磷が期待できないような低塩基度スラグでも、予備処理としては十分な脱磷が可能である。Bタイプの脱磷剤を使用した塩基度1.5～3.0での脱磷では処理後溶鉄〔P〕を0.003～0.020%程度まで低下できる。特に塩基度が2.0～3.0では〔P〕=0.003～0.005%の極低磷溶鉄の溶製も可能であり、本脱磷処理の優位性を示している。

(2) 脱磷におよぼすスラグ中T.Feの影響

図5に脱磷率とスラグ中T.Feの関係を示す。実験したスラグ成分範囲内では、脱磷率はT.Feの増加と共に向上する。また脱磷率の向上をはかるためには、低塩基度スラグ程高いT.Feが必要である。

IV 脱磷溶鉄の転炉吹錬結果

脱磷処理した溶鉄を合わせ湯し、全量処理溶鉄を使って70t転炉で吹錬を行なった。使用した造滓剤は主として生石灰50～70kg/t、珪石11～16kg/t、および螢石6～15kg/tである。なおBタイプの脱磷剤を使用した場合の脱磷溶鉄の吹錬時には、一部上記珪石のうちの約6kgの代りに発熱剤としてFe-Si 4kg/tを添加した。吹錬した結果を図6に示す。溶鉄〔P〕の低下と共に転炉終点〔P〕も低下する。Aタイプ、Bタイプの脱磷剤をそれぞれ使用した場合の脱磷溶鉄を転炉吹錬することにより、終点ではそれぞれ〔P〕≤0.007%、〔P〕≤0.004%となり、種々の復磷防止に留意した結果、成品でそれぞれ〔P〕≤0.010%、〔P〕≤0.005%が可能

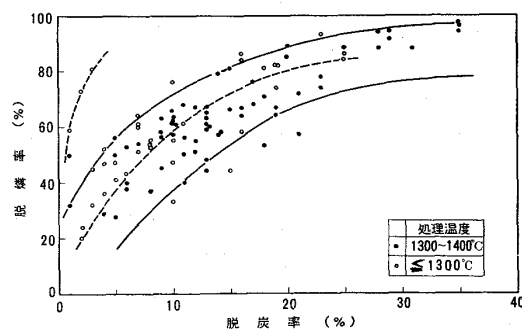


図3. 脱炭率と脱磷率の関係（実炉実験）

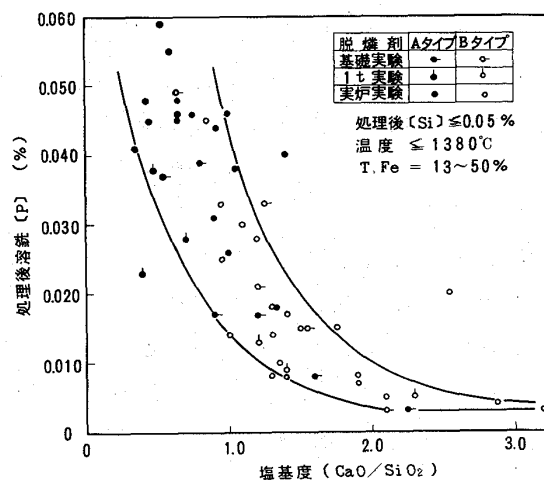


図4. スラグ塩基度と処理後溶鉄〔P〕の関係

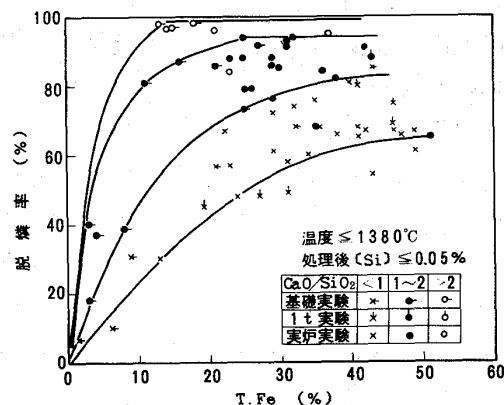


図5. 脱磷率におよぼすT.Feの影響

であることがわかった。

V 考 察

1. 溶銑の炉外脱磷処理における磷の分配比

本脱磷処理においてスラグの脱磷能を論ずる場合、処理時に脱磷が限界に達したかどうかが重要である。図2に示したように、基礎実験の場合処理時間の経過と共に脱磷が定常状態となった。この時脱磷はほぼ限界に達したものと考えられる。この場合の磷の分配比、すなわち $(P_2O_5)/[P]$ をスラグの塩基度と T. Fe で整理した結果を図7に示す。磷の分配比は塩基度と T. Fe の上昇と共に大きくなり、双曲線状に層別けされる。図7には実炉実験の結果も示したが、実験時間内に定常状態に達していなかったと思われるヒートがかなり見られる。そこで脱磷がほぼ定常状態に達したと考えられるヒートのみ $(P_2O_5)/[P]$ をスラグ塩基度で整理したのが図8である。 $CaO/SiO_2 > 1$ では塩基度の効果が大きいことがわかる。図8において通常の転炉吹錬の塩基度 ($CaO/SiO_2 = 3.5 \sim 4.5$) まで外挿すると本脱磷処理における $(P_2O_5)/[P]$ は 900~1200 となり、通常転炉吹錬の場合のそれに比べ 5~10 倍である。このことは低温処理による脱磷の優位性を示すものと考えられる。

Healy²⁾ は磷の分配比 $L_P = (\%P)/[\%P]$ について次式を提案している。

$$\log \frac{(\%P)}{[\%P]} = \frac{22350}{T} - 16 + 0.08 \times (\%CaO) + 2.5 \log (\%Fe t) \quad (1)$$

本実験結果のうち、脱磷がほぼ定常状態になったヒートは、脱磷が平衡に近いものと考え、(1)式を用いて整理したのが図9である。図からわかるように、本実験結果に直線関係が見られるが、実測値は計算値よりかなり低い。河井ら⁸⁾ は転炉内での脱磷平衡について(1)式を用いて検討し、計算値と実測値に差があると報告している。一方(1)式でスラグ組成を一定とした場合、本脱磷処理時(約 1300℃)の $L_P = (\%P)/[\%P]$ は転炉吹錬時(1650℃)のその約 400 倍となる。この値は、前述の 5~10 倍に比べて大きい。従って、本実験における磷の分配比が計算値とずれていた原因については明確ではないが、約 1300℃ という低温の溶銑の脱磷に(1)式を適用したことに問題があったのかもしれない。この点についてはさらに検討したい。

2. 溶銑の炉外脱磷法による転炉滓のリサイクル

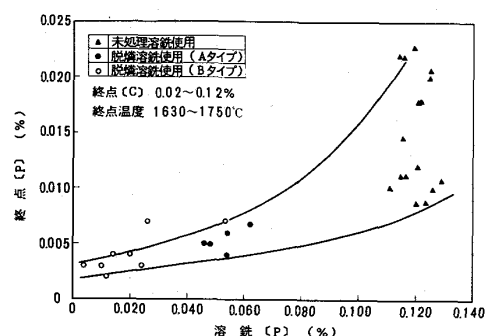


図6. 溶銑 [P] と転炉終点 [P] の関係

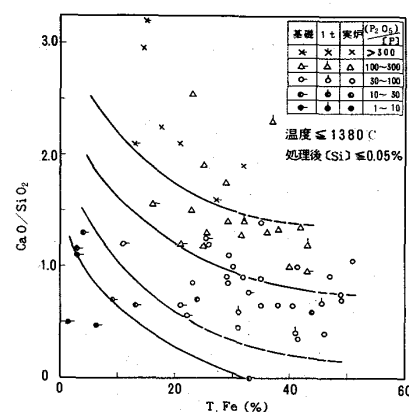


図7. 溶銑の炉外脱磷処理後の磷の分配比におよぼす塩基度、T. Fe の影響

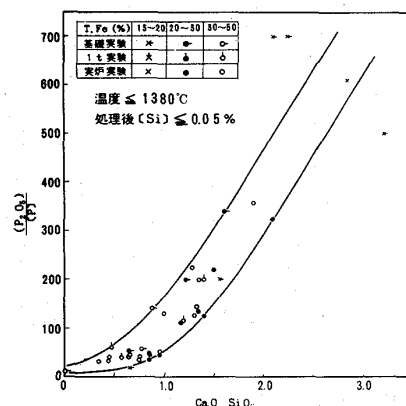


図8. 磷の分配比におよぼすスラグ塩基度の影響

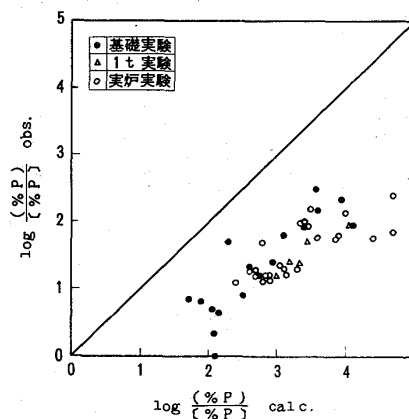


図9. 溶銑の炉外脱磷結果と Healy の脱磷平衡式²⁾ との比較

本処理により脱磷した溶銑を使って、通常〔P〕レベルの鋼を溶製する場合のスラグバランスを現場作業条件をもとにして、幾つかの仮定を用いて計算した結果の一例を図10に示す。このように溶銑の炉外脱磷法により、通常〔P〕レベルの鋼は少ない造滓剤で吹錬ができるため、転炉滓の発生は少なくなる。この転炉滓は再び溶銑の炉外脱磷の脱磷剤として使用し、一部高炉へ返還することができるため、転炉滓の系外排出をなくし、処理が可能と考えられる低塩基度で遊離石灰のほとんどない溶銑の炉外脱磷滓と高炉滓に改質できることがわかる。

3. 溶銑の炉外脱硫との組み合わせ

低磷鋼では同時に低硫を要求されることが多く、この場合は炉外脱硫処理も行なう必要がある。この場合いずれの処理を先に行なうべきかについて考える。脱硫は〔Si〕の高い溶銑の方が有利である。この点からは脱硫を先に行なうのが良い。しかしながらこの場合、脱磷剤からの復硫についての考慮も必要である。脱磷剤からの復硫量を、脱磷剤中のSと本脱磷実験におけるSの分配比をもとにして求めると、Bタイプの脱磷剤を使用した

場合は0.0007~0.001%増加で問題ないが、Aタイプでは脱磷剤成分の転炉滓のSが原因で0.003~0.004%増加する。従ってBタイプでは脱硫-脱磷の順で良いが、Aタイプでは脱磷-脱硫の順序にする必要がある。この場合、脱磷溶銑には〔Si〕がほとんどないため脱硫の低下が懸念されたが、図11に示すように、脱磷スラグを完全に除滓できなかった本実験でも脱硫は通常の場合とほぼ同等である。いずれにせよ脱硫滓、脱磷滓の除去は、低硫・低磷鋼の溶製にとって重要な因子である。

VI 結 言

低磷鋼の溶製と転炉滓問題の解決を目的に、溶銑を取鍋内で脱磷する方法を検討し、次の結果を得た。

- (1) 転炉滓-酸化鉄系脱磷剤を使った低塩基度スラグ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0.5 \sim 1.0$)による脱磷により、溶銑〔P〕は0.020~0.060%まで低下できる。本法により転炉で〔P〕0.010%以下の低磷鋼の溶製が可能となる。また通常〔P〕レベルの鋼の溶製に用いれば、転炉滓のリサイクルが可能となり遊離石灰のほとんどない溶銑の炉外脱磷滓と高炉滓に改質できる。
- (2) 生石灰-酸化鉄系脱磷剤を使った高塩基度スラグ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1.5 \sim 3.0$)による脱磷により、溶銑〔P〕は0.003~0.020%まで低下できる。本法により転炉で〔P〕0.005%以下の極低磷鋼の溶製が可能となる。

- 参考文献 1) 佐々木, 大喜多, 池田, 岡寄, 松尾, 川見: 鉄と鋼, 63 (1977) p1801
 2) G.W. Healy: JISI, 208 (1970), 664
 3) 河井, 高橋: 学振 19 委 10012 (1977)

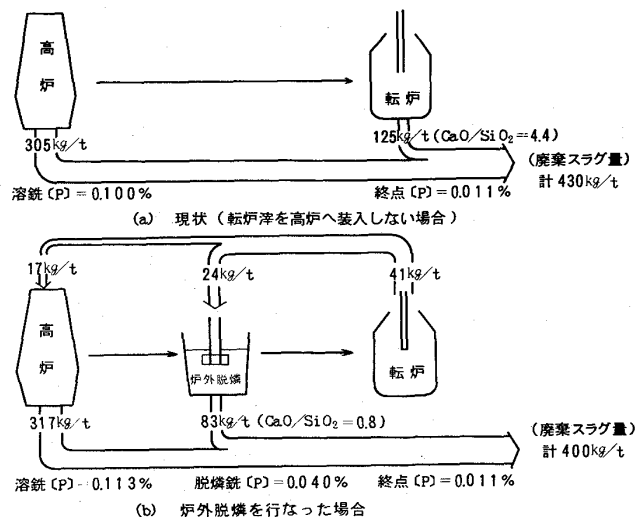


図10. 炉外脱磷によるスラグシステムの改善

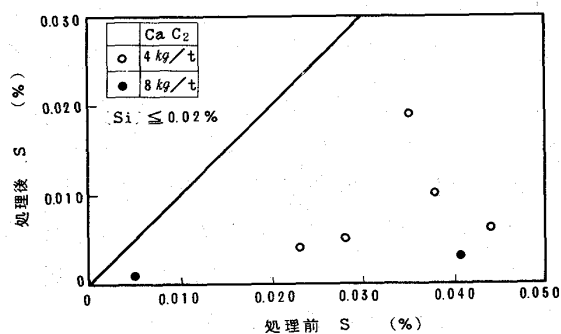


図11. 脱磷溶銑の脱硫処理 (インペラー攪拌)