
上底吹き転炉上吹きランスからの生石灰基フラックス・インジェクション

Injection of Lime Powder through Top Lance of Combined-Blowing Converter

田岡 啓造(Keizo Taoka) 今井 卓雄(Takuo Imai) 久我 正昭(Masaaki Kuga) 橘
林三(Rinso Tachibana) 大西 正之(Masayuki Onishi) 永井 潤(Jun Nagai)

要旨：

上吹き転炉は、底吹きガスの攪拌効果により、スラグ中 (T.Fe) が低く、鉄歩留が良好な反面、中・高炭素濃度域の脱燐に難点があった。そこで、上底吹き転炉の脱燐能改善を目的に、上吹きランスから生石灰粉を吹込む実験を行った。生石灰粉の上吹きにより、脱燐能の大きいカルシウム・フェライトが生成するため、上底吹き転炉の中・高炭域の脱燐能は改善される。また、生石灰粉の吹込み時期の調整により、(T.Fe) をコントロールすることが可能である。

Synopsis：

Combined-blowing converter shows salient characteristics of better mixing performance in the vessel compared with that of LD, and this leads to a higher metal yield due to less content of (T.Fe) in slag. Dephosphorization rate, however, in earlier stage of development, decreased in a higher carbon range. Therefore, experimental works have been performed to improve the dephosphorization behavior in combined-blowing practice by injecting CaO powder through the top lance. An improvement on dephosphorization observed even in a higher carbon range may be attributed to calcium ferrite formed at the impinging region and reacting directly with phosphorus in hot metal. (T.Fe) in slag can be controlled by changing the timing of lime injection through the top lance.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

上底吹き転炉上吹きランスからの生石灰基 フラックス・インジェクション

川崎製鉄技報

15(1983)2:120-125

田岡 啓造* 今井 卓雄** 久我 正昭*** 橘 林三**** 大西 正之***** 永井 潤*****

Injection of Lime Powder through Top Lance of Combined-Blowing Converter

Keizo Taoka, Takuo Imai, Masaaki Kuga, Rinso Tachibana, Masayuki Onishi, Jun Nagai

要旨

上底吹き転炉は、底吹きガスの攪拌効果により、スラグ中 (T. Fe) が低く、鉄歩留が良好な反面、中・高炭素濃度域の脱磷に難点があった。そこで、上底吹き転炉の脱磷能改善を目的に、上吹きランスから生石灰粉を吹込む実験を行った。

生石灰粉の上吹きにより、脱磷能の大きいカルシウム・フェライトが生成するため、上底吹き転炉の中・高炭素域の脱磷能は改善される。また、生石灰粉の吹込み時期の調整により、(T. Fe) をコントロールすることが可能である。

Synopsis:

Combined-blowing converter shows salient characteristics of better mixing performance in the vessel compared with that of LD, and this leads to a higher metal yield due to less content of (T. Fe) in slag. Dephosphorization rate, however, in earlier stage of development, decreased in a higher carbon range. Therefore, experimental works have been performed to improve the dephosphorization behavior in combined-blowing practice by injecting CaO powder through the top lance. An improvement on dephosphorization observed even in a higher carbon range may be attributed to calcium ferrite formed at the impinging region and reacting directly with phosphorus in hot metal. (T. Fe) in slag can be controlled by changing the timing of lime injection through the top lance.

1. 緒 言

昭和52年、千葉製鉄所第3製鋼工場への底吹き転炉(Q-BOP)の導入を契機として、転炉製鋼法における鋼浴攪拌の重要性が認識され、完成された技術と従来考えられていた上吹き転炉に、底吹き転炉の攪拌力を付加した、上底吹き転炉が誕生した。当社においても、上底吹き転炉全炭素量の30~40%を、生石灰粉とともに底吹きするK-BOP、あるいは、少量の不活性ガス底吹きによって鋼浴を攪拌するLD-KGが開発されている。

ところで、近年、鋼材の高級化にともない低P鋼の需要が増大し、転炉における高い脱磷能が要求されるようになった。ところが、上記上底吹き転炉は、底吹きガス攪拌の効果により、スラグ中の(T. Fe)が低く鉄歩留が良好な反面、中・高炭素濃度域の脱磷に難点があった。そこで、上底吹き転炉の脱磷能の改善を目的に、LD-KGおよびK-BOPの上吹きランスから生石灰基フラックスを吹込む実験を行い、その冶金特性を調査した。

2. KG-LIの基本概念

少量の不活性ガスを底吹きするLD-KG¹⁾では、副原料として塊状生石灰を使用していた。しかし、塊状生石灰は滓化が遅く、未滓化のまま吹錬が終了することもあり、生石灰粉を底吹きするQ-BOPより利用効率が低い。酸素とともに吹込まれた生石灰粉は、鋼中でカルシウム・フェライト(以後CaO・FeOと

記す。)を生成し、脱磷に寄与することが判明している²⁾。したがって、LD-KGの脱磷能力を向上させるには、塊状生石灰の代わりに生石灰粉を吹込むことが効果的と考えられた。ところが、LD-KGの底吹きガス流量は、生石灰粉の底吹きには不十分であった。そこで、上吹きランスから、純酸素と共に生石灰粉を吹込み、かつ、底吹き羽口からの不活性ガスによって鋼浴を攪拌する、KG-LI実験設備を、千葉製鉄所第2製鋼工場に設置した。

従来、上吹きランスから純酸素と共に生石灰粉を吹込む技術は、LD-ACとしてよく知られているが、生石灰粉が火点に供給され、滓化性が良く脱磷に効果的な反面、スロッピングを誘発する欠点があった。KG-LIは、Fig. 1に示すように、LD-ACと上底吹き技術を組合せたもので、不活性ガス吹込みによるスロッピングの解消、及び生石灰粉吹込みによる脱磷能力向上の、両長所を併せ持っている。なお、Fig. 2にKG-LI実験設備の概要を示した。

3. KG-LIの冶金特性

3・1 スロッピング状況

生石灰粉の吹込みはFig. 3に示すように、前半吹込み(Lパターン)を基本パターンとした。これは、後述するように、スラグの酸化度が生石灰吹込み終了から吹錬終了までの時間と逆相関を示すので、スロッピングの点で有利と予測されたため

* 千葉製鉄所製鋼部製鋼技術室
*** 千葉製鉄所第2製鋼課課長
***** 水島製鉄所製鋼部製鋼技術室主査(課長)

[昭和58年3月17日原稿受付]

** 千葉製鉄所製鋼部製鋼技術室主査(部長補)
**** 水島製鉄所製鋼部第1製鋼課掛長
***** 水島製鉄所製鋼部部長

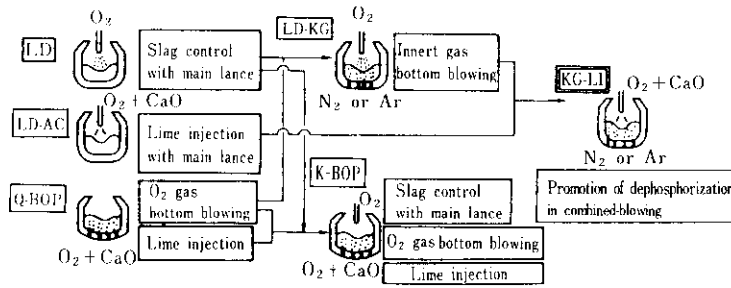


Fig. 1 Concept of KG-LI

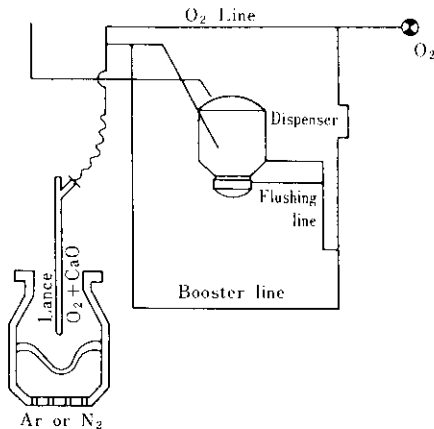


Fig. 2 Schematic diagram of KG-LI

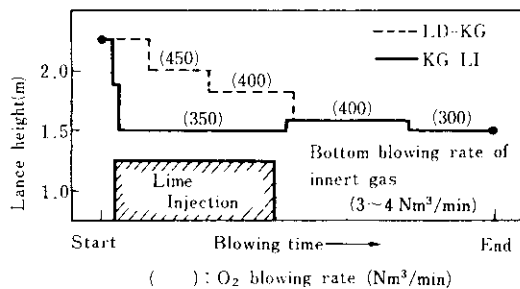


Fig. 3 Blowing pattern

ある。Lパターンの採用により、KG-LIのスロッピング発生率は、Fig. 4に示すようにLD-KGより減少した。

3.2 KG-LIの脱磷機構

KG-LIのLパターンにおける脱磷挙動を調査する目的で、吹錬中に連続サンプリングを行った。その結果をFig. 5に示す。KG-LIでは、吹込み時の脱磷速度がLD-KGに比べ著しく大きく、高炭素濃度域での脱磷能に優れている。Q-BOPにおける解析では、底吹き酸素とともに吹込まれた生石灰が火点でCaO・FeOを生成し、鋼浴を浮上中に鋼浴中のPと反応することが明らかとなっている。そこで、KG-LIにおいても、上吹きランスからの生石灰粉が鋼浴に侵入し、直接脱磷に寄与し得るかどうかを調査した。

一般に、ランスから気体とともに吹込まれた粉体の、金属浴中へ侵入する条件は、(1)式に示すパラメータ N_p の値で求められる³⁾。すなわち、 N_p の値により侵入し得ない場合 (Fig. 6 (A)) と侵入し得る場合 (Fig. 6 (B)) とに判定され、後者と判定された場合、その侵入深さ H_p は(2)式により与えられる³⁾。

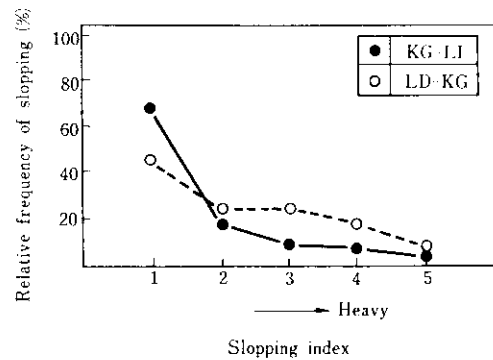


Fig. 4 Comparison of slopping between KG-LI and LD-KG

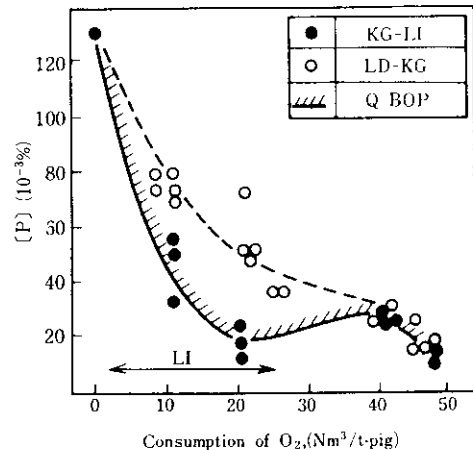


Fig. 5 Behaviour of phosphorus content during blowing

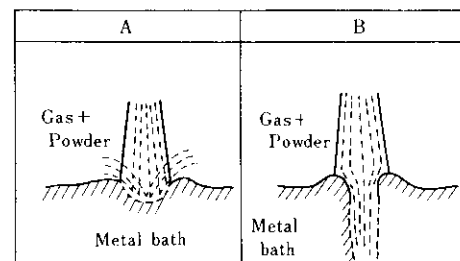


Fig. 6 Schema of gas-powder jet penetration into metal bath

$$N_p = \left(\frac{W_s}{\pi \cdot d_p^3 \cdot \rho_s \cdot S_o} \right) \times 10^4 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$A = 1.091 - 0.999[\log(H_o/d)]^2 + 1.4623 \log(H_o/d_o) - 0.0843 \log(U_s/100) + 0.2531 \log(W_s/S_o)$$

$$H_p = 0.136 d_p^{1.27} \cdot U_s^{0.135} \cdot \rho_e^{-0.609} \cdot \rho_s^{0.12} \cdot \mu_e^{-0.024} \cdot N_p^{0.494} \cdot U_o^{0.62} (d_o + 2H_o + \tan\theta)^{0.475} \quad (2)$$

H_p : 石灰粉の侵入深さ (cm) W_s : 石灰粉吹込流量 (g/s)
 ρ_e : 溶鋼の密度 (g/cm³) U_o : キャリアガス流速 (cm/s)
 ρ_s : 石灰粉の密度 (g/cm³) H_o : ランス高さ (cm)
 U_s : 石灰粉吹込流速 (cm/s) d_o : ランス孔径 (cm)
 d_p : 粉径 (cm) θ : ランス孔偏角 (degree)
 μ_e : 溶鋼の粘性 (poise) S_o : ランス孔断面積 (cm²)

KG-LI の操作条件を両式に適用すると、生石灰粉は鋼浴に侵入し得ると判定され、その侵入深さは45cmと概算された。

そこで、急冷凝固が可能な特殊サブランスプローブを用いて、生石灰粉吹込み時の溶鋼の連続サンプリングを行い、溶鋼中の懸濁生石灰粉の有無を調査した。その結果、溶鋼中に多数の生石灰粉が懸濁していることが確認された。懸濁粒子のEPMA分析結果を、Photo. 1 に示す。これらの結果は、鋼中に侵入した生石灰粉により CaO・FeO が生成し、直接脱磷を生じている可能性を示唆している。

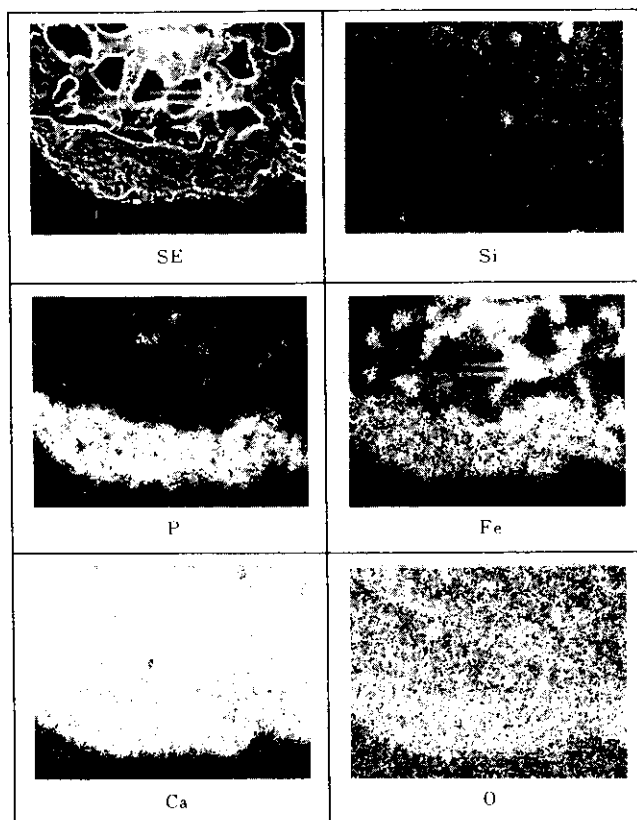


Photo. 1 EPMA analysis of injected powder (×1000)

3.3 吹止スラグ成分

Fig. 7 に、L パターンにおける計算塩基度と実塩基度の関係を示す。LD-KG と比較して浄化率が良好で、生石灰の有効利用率が向上している。その結果、Fig. 8 に示すように、同一吹止 [P] を得るための副原料原単位が低減した。

Fig. 9 に (T. Fe) と (P)/[P] の関係を示すが、KG-LI では、LD-KG に比べ、同一 (T. Fe) における (P)/[P] が高い。すなわち、(T. Fe) が低い中炭素濃度領域においても従来より高い (P)/[P] を得ることが可能である。同様の傾向は、

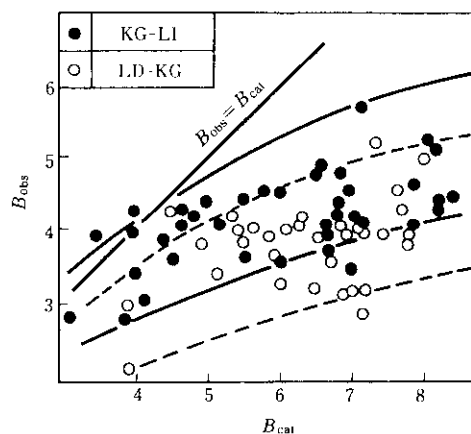


Fig. 7 Relationship between calculated and observed basicities, $B = (\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$

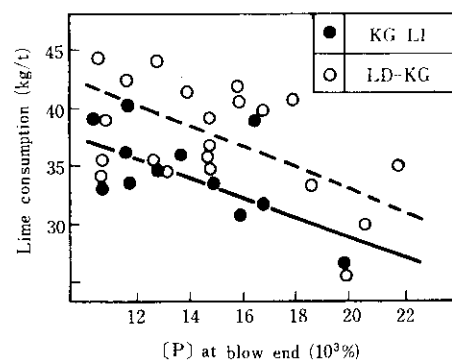


Fig. 8 Relationship between [P] at blow end and lime consumption required

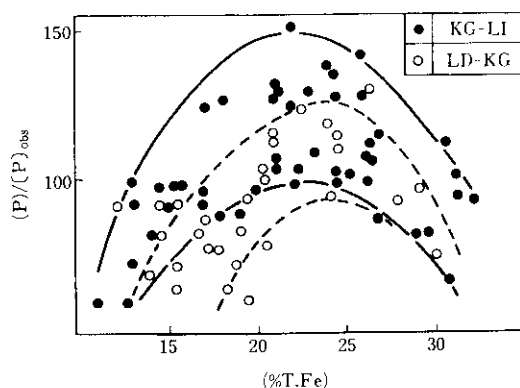


Fig. 9 Effect of (T. Fe) in slag on phosphorus partition ratio

(Mn)/[Mn] と (P)/[P] の関係でも認められ、これを Fig. 10 に示す。したがって、KG-LI では、上吹きランスからの生石灰粉吹込み効果によって、[Mn] および [Fe] を必要以上に酸化させることなく高い (P)/[P] が得られ、脱磷能に優れたプロセスと言える。

4. K-BOP における生石灰粉上吹きインジェクション (K-BOP-LI)

水島製鉄所第2製鋼工場 K-BOP で、従来の生石灰粉の底吹き羽口からの吹込みに替え、上吹きランスから生石灰粉吹込み (K-BOP-LI) 実験を行い、その効果について調査した。

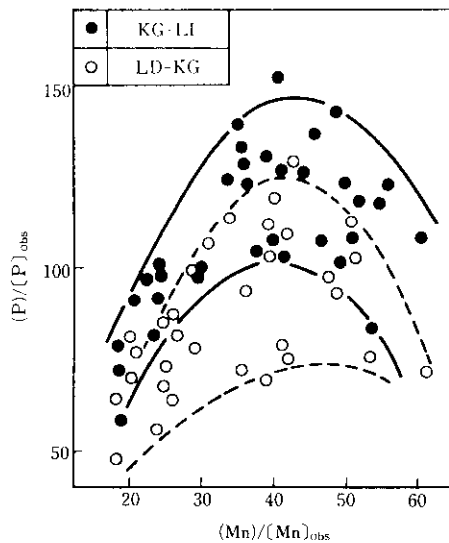


Fig. 10 Relationship between manganese and phosphorus partition ratios

Fig. 11 に、吹止 [C] と (T. Fe), Fig. 12 に (T. Fe) と (P)/[P] の関係を示す。K-BOP に比べ、K-BOP-LI では、吹止時の (T. Fe) は大差ないが、同一 (T. Fe) に対する (P)/[P] は若干低い傾向を示す。ところが、Fig. 12 に併記した LD-AC の場合は、従来の LD より (P)/[P] が高く、上吹きインジェクションの効果が明瞭に認められる。

Fig. 13 に K-BOP-LI の各吹錬パターンにおける (T. Fe) と (P)/[P] の関係を示す。ハード・ブローでは、上吹きランスから吹込まれた生石灰粉が鋼浴中へ侵入しやすく、脱磷に有利である。

次に、LD-AC における、上吹きランスからの生石灰吹込み終了から吹止までの時間 Δt と吹止時 (T. Fe) との関係を示す。Fig. 14 に示す。 Δt と (T. Fe) は明瞭な逆相関を示す。これは、上吹きランスから生石灰粉を吹込んだ方が、生成した $\text{CaO} \cdot \text{FeO}$ の還元速度が従来の生石灰粉底吹法より小さいためと考えられる。実際に、K-BOP-LI でも、吹込みタイミングの調節により、(T. Fe) のコントロールが可能である。

Fig. 15 に、サブランス投入時の [C] と [P] の関係を示すが、従来法と比べ K-BOP-LI の方が高炭素濃度域で脱磷に優

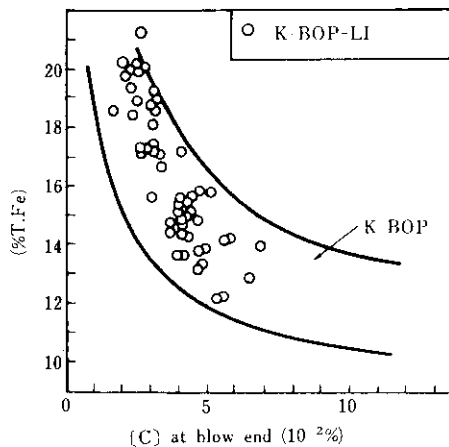


Fig. 11 Effect of lime injection through top lance in K-BOP compared in terms of [C]-(T. Fe) relationship

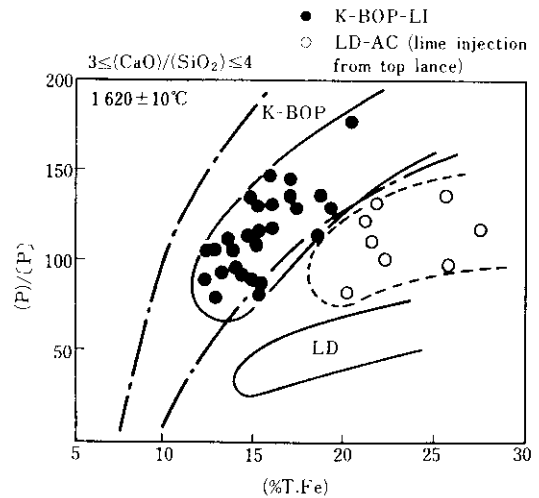


Fig. 12 Effect of lime injection through top lance compared in terms of (T. Fe)-(P)/[P] relationship

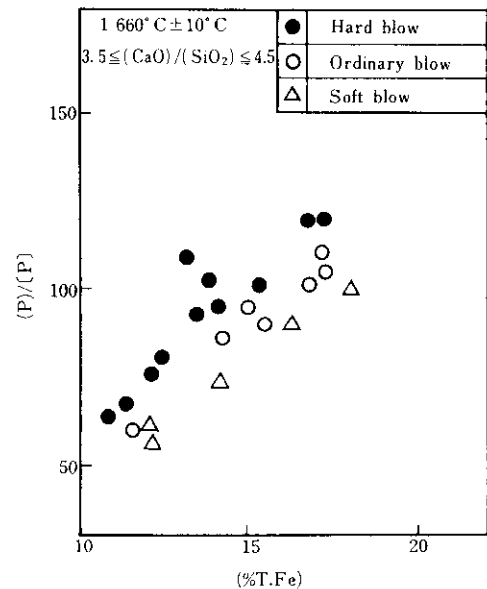


Fig. 13 Comparison of top blowing patterns in K-BOP-LI in terms of (T. Fe)-(P)/[P] relationship

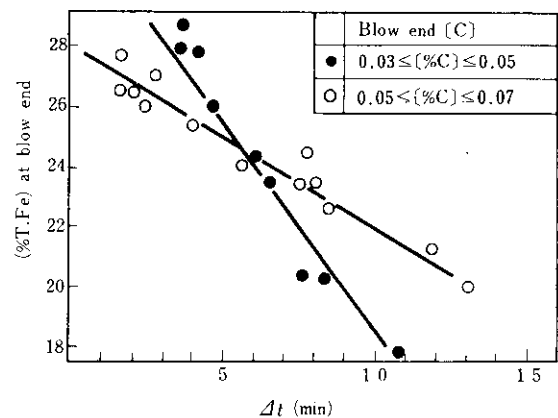


Fig. 14 Relationship between (T. Fe) and Δt (blowing time after the end of lime injection) in LD AC

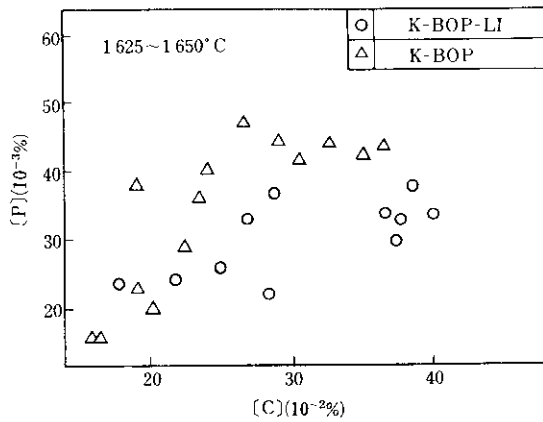


Fig. 15 Effect of lime injection through top lance in K-BOP compared in terms of [C]-[P] relationship

れていることがわかる。

一方、耐火物面では、Fig. 16 に示すように、K-BOP-LIの方が底吹き羽口の溶損速度が大きい。これは、Fig. 17 に示すように、生石灰粉による羽口冷却効果がK-BOP-LIではなくなるためと考えられる。

5. KG-LIによる溶銑予備処理

鋼材の高級化にともない、極低P鋼の需要が増大しているが、安価でかつ安定して極低P鋼を製造することを目的とし、KG-LIによる溶銑脱磷実験を行った。

KG-LI, LD-KG, Q-BOPでの溶銑脱磷処理の比較をTable 1に示す。Fig. 18に脱珪に消費した酸素量を除く酸素吹錬量と脱磷率の関係を示す。KG-LIの脱磷能はLD-KGより優れており、また、Q-BOPと比較すると酸素利用効率の点で劣っている。

Fig. 19にLD-KG, KG-LIの同一処理条件における(T, Fe)と(P)/[P]の関係を示す。KG-LIではLD-KGより高い(P)/[P]が得られる。また、(T, Fe)が低い程(P)/[P]が高く、

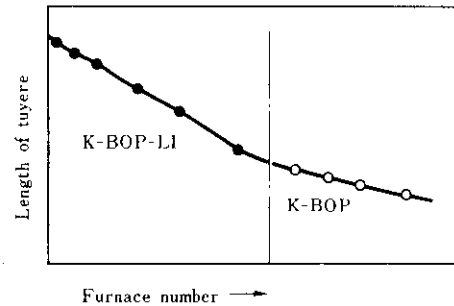


Fig. 16 Influence of lime injection through top lance on wearing rate of bottom blowing tuyere in K BOP

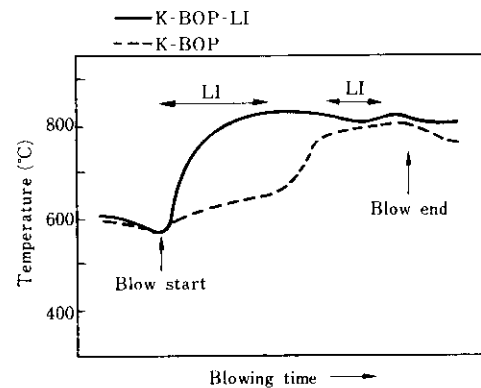


Fig. 17 Effect of lime injection through top lance on temperature change of tueres of K-BOP

Q-BOPにおける溶銑脱磷処理と同様の傾向を示している⁴⁾。これは、上吹きランスから酸素とともに吹込まれた生石灰粉が火点で酸化鉄と反応し、脱磷能の高いCaO・FeOを生成することに起因すると考えられる。すなわち、CaO・FeOと溶銑中の(P)との反応が促進されれば、(T, Fe)は低くなり、(P)/[P]は高くなる。したがって、KG-LIの脱磷機構はQ-BOPの場合と同じであると考えられる。

Table 1 Characteristics of dephosphorization process

		Before treatment					Raw material consumption	After treatment			
		C	Si	Mn	P	S		C	Mn	P	S
KG LI		4.50	0.20	0.35	0.130	0.006	Lime 20.0 kg/t-pig	3.30	0.20	0.010	0.005
		T = 1325°C					Spar 5.0 kg/t-pig	T = 1369°C			
LD KG		4.50	0.20	0.35	0.120	0.005	Lime 26.0 kg/t pig	3.30	0.17	0.020	0.005
		T = 1335°C					Spar 5.0 kg/t-pig	T = 1380°C			
Q B O P		4.50	0.20	0.30	0.140	0.003	Lime 20.0 kg/t-pig	3.70	0.20	0.010	0.003
		T = 1370°C					Spar 5.0 kg/t-pig	T = 1360°C			
							Ore 35.0 kg/t-pig				
							O ₂ 11.0 Nm ³ /t-pig				
							O ₂ 7.3 Nm ³ /t-pig				

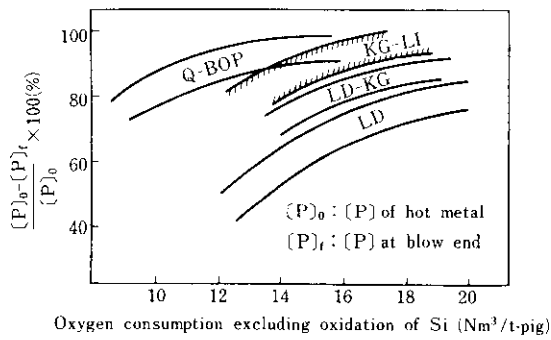


Fig. 18 Change of dephosphorization ratio with the amount of blown oxygen exclusive of that for desiliconizing

6. 結 言

LD-KG, K-BOPの上吹きランスから生石灰粉を吹込む KG-LI, K-BOP-LIの実験を行った。

上吹きランスから生石灰粉を吹込むことにより、上底吹き転がの中・高炭域における脱磷能は改善される。これは、生石灰粉が鋼中に侵入し、脱磷能の大きい $\text{CaO} \cdot \text{FeO}$ を生成することによるものと考えられる。このため、(T. Fe) は生石灰吹込み

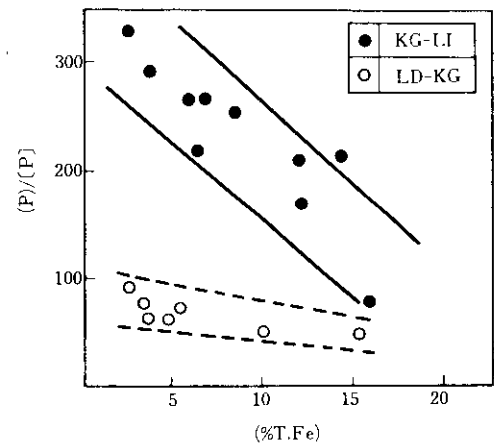


Fig. 19 Effect of lime injection through top lance in LD-KG on (T. Fe)-(P)/(P) relationship

直後の方が高く、吹込みタイミングの調節により (T. Fe) をコントロールできる。

しかし、K-BOPにおいて生石灰粉上吹きを実施すると、生石灰底吹きによる羽口冷却が期待できないため、羽口損耗速度が増大し、炉底耐火物寿命の面で問題がある。したがって、K-BOPにおける生石灰粉吹込みは、底吹き羽口からの方が好ましい。

参 考 文 献

- 1) 木中ら：鉄と鋼, 66 (1980) 4, S236
- 2) 野崎ら：鉄と鋼, 68 (1982) 13, 1737
- 3) 森：鉄と鋼, 67 (1981) 6, 672
- 4) 拝田ら：鉄と鋼, 68 (1982) 13, 1744