

技術報告

溶銑予備処理と溶融還元を用いた新製鋼
プロセスの工業化山瀬 治*・池田 正文*・福味 純一*
滝 千尋*・山田 健三*²・岩崎 克博*³

Industrialization of a New Steelmaking Process Utilizing Hot Metal Pre-treatment and Smelting Reduction

Osamu YAMASE, Masahumi IKEDA, Junichi FUKUMI,
Chihiro TAKI, Kenzo YAMADA and Katsuhiko IWASAKI

Synopsis :

Low phosphorus hot metal is mass-produced by use of cast floor desiliconization and ladle dephosphorization, and less slag converter practice is established. Efficient manganese ore smelting reduction in the converter has been realized, and high manganese yield, *i. e.*, 65 to 70% is attained at high manganese *i. e.*, $[Mn]=1\%$ level.

It is essential for the efficient recovery of manganese to obtain low phosphorus hot metal to the level of $[P]=0.013\%$ and to attain the highly accurate decarburization control, reduction of (FeO), and slag basicity and quantity control in the converter.

By use of this new technology, it has become possible to reduce the expensive ferromanganese alloy consumption, and the cost of converter steelmaking.

Key words : hot metal treatment ; steelmaking ; desiliconization ; dephosphorization ; smelting reduction.

1. 緒 言

溶銑予備処理を用いた新製鋼プロセスの工業化ニーズは鋼特性の向上をねらった低りん化、及び発生スラグ量低減にもあるが、転炉溶製コスト低減の観点からはレススラグ吹錬でのマンガンを還元が最も重要である。マンガンを還元して終点 $[Mn]$ を高め、それに応じて次工程でのフェロマンガンを削減する操業技術¹⁾は従来より知られていたが、従来の普通銑の上吹転炉操業ではフェロマンガンの節約の効果が小さく、かつ不安定であるため普及していなかった。

転炉の終点 $[Mn]$ は装入マンガンの量 (溶銑 $[Mn]$ と銑石中のマンガンの) のほかにスラグ量とマンガンの分配比で決定される。溶銑脱りんによつてスラグ量が低減できれば当然その効果は大きい。一方、分配比はスラグ中 (T. Fe)、塩基度、温度によつてほぼ決定される²⁾が、これらは種々の条件によつて制約されており、分配比を下げ、

マンガンの歩留りをあげるための操業は必ずしも容易ではない。スラグ量と (T. Fe) 低減がマンガンを還元するの必須条件となるが、(T. Fe) 低減は転炉の脱りん能を低下させるし、スラグ量の大幅低減は脱りん能を低下させると同時に耐火物損傷を大きくするといわれている³⁾。

予備脱りん銑の上底吹転炉操業でのマンガンを還元する報告は決して少なくない³⁾⁻⁵⁾が、試験操業ないし中高炭素鋼 ($[C] \geq 0.1\%$, $[Mn]=1\%$ 程度) への適用といった限定があり、低炭素-高マンガンを鋼 ($[C] < 0.1\%$, $[Mn]=1\%$ 程度) へのマンガンを還元するの活用報告例は無い。それは前述の必須条件が大量生産技術として確立されていないためと考えられた。

そこで筆者らは大量生産技術としてのスラグ量の極限までの低減と (T. Fe) 低減を達成するための課題を検討した。中でも、溶銑脱りん処理技術の確立が最も重要な課題であると考えた。更に、転炉操業については上底吹き吹錬条件を見直し、レススラグ吹錬での終点 $[C]$

昭和 61 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 62 年 2 月 18 日受付 (Received Feb. 18, 1987)

* 日本鋼管(株)福山製鉄所 (Fukuyama Works, Nippon Kokan K. K.)

*² 日本鋼管(株)鉄鋼研究所福山研究所 (現: 日本鋼管(株)鉄鋼研究所) (Fukuyama Research Laboratories, Steel Research Center, Now Steel Research Center, Nippon Kokan K. K., 1-1 Minamiwatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 211)

*³ 日本鋼管(株)鉄鋼研究所福山研究所 (Fukuyama Research Laboratories, Steel Research Center, Nippon Kokan K. K.)

制御精度の向上と鋼浴過酸化抑制を図った。

その結果、それらの課題を解決でき、昭和 60 年 8 月より稼動した溶銑脱りん設備を用いて、10 万 t/月以上の溶銑処理を実施し、レススラグ吹錬でマンガン鉱石を溶融還元しマンガン系合金鉄の削減に成功している。本報告では、マンガン系合金鉄の削減の観点から溶銑予備処理を用いた当所の新製鋼プロセスについて述べる。

2. 新製鋼プロセスの対象鋼種

低マンガン鋼 ($[Mn]=0.25\%$, $[C]=0.05\%$) と高マンガン鋼 ($[Mn]=1.0\%$, $[C]=0.10\%$) 製造に溶銑処理を適用したメリットを比較した場合、前者を 1 とすると後者は 3 以上となる。高マンガン鋼では、マンガン鉱石の溶融還元メリットが得られるのにたいして、低マンガン鋼では、レススラグ吹錬での鉄歩留り向上、石灰等の副原料の削減メリットのみに留まるからである。

この観点から新プロセスの主たる対象鋼種は厚板向けの高マンガン鋼となる。

3. 新製鋼プロセスの設備

3.1 プロセスフロー

溶銑脱りん設備を含む新製鋼プロセスのフローを Fig. 1 に示す。

本プロセスは高炉鑄床脱珪設備、機械攪拌式脱硫設備、

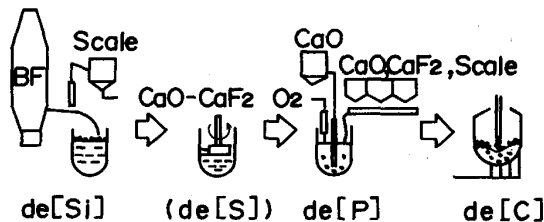


Fig. 1. Schematic diagram of pig iron pretreatment process.

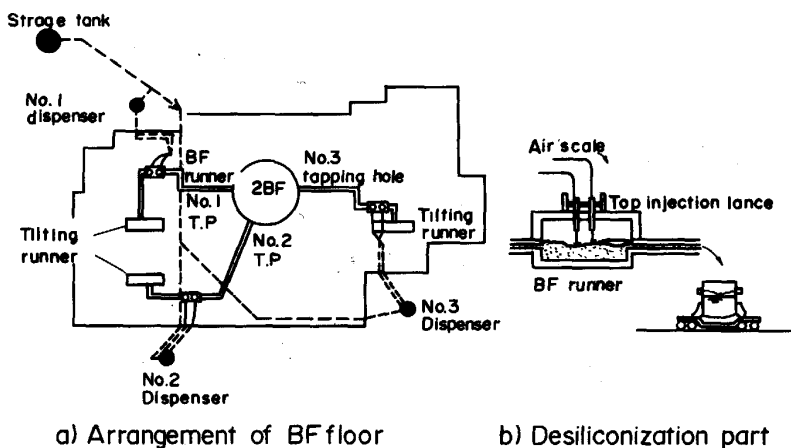


Fig. 2. Schematic diagrams of desiliconization equipment.

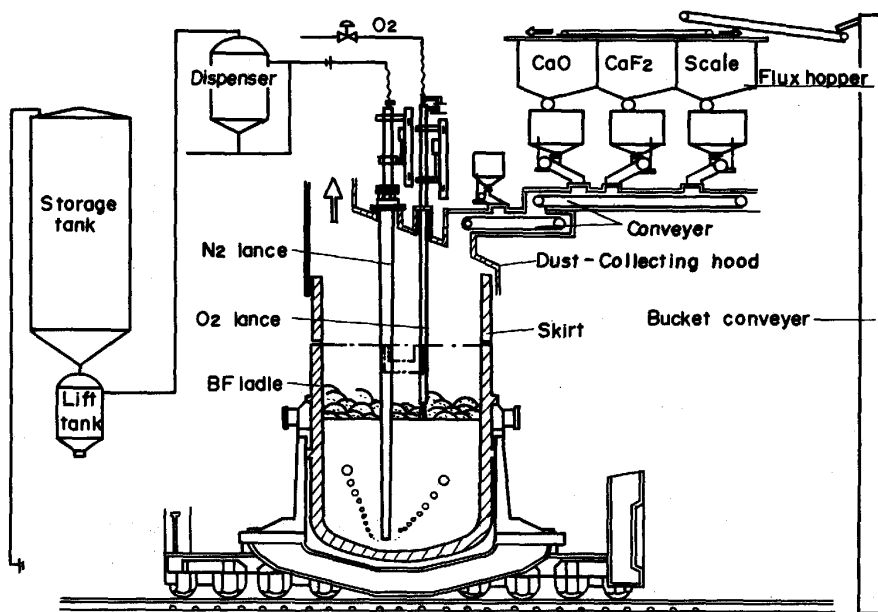


Fig. 3. Schematic view of the dephosphorization equipment.

脱りん処理設備（以下 NRP : New Refining Process）および排滓設備よりなる。

当所の溶銑搬送はオープンレードル方式であり溶銑鍋(200 t)を反応容器として使用するため鍋ライニングとして $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$ れんがを使用している。脱りん溶銑は主に第2製鋼工場で使用され、その転炉装入量は270 tであるので脱りん処理はすべて2鍋単位で実施している。

3.2 高炉鑄床における脱珪設備

第2高炉鑄床脱珪設備を Fig. 2 に示す。脱珪剤投入方法に、投射方式（以下 TIM : Top Injection Method）を採用している。これはミルスケールをエアにより溶銑中に高速(100 m/s)で投射し、高炉樋内で脱珪反応を進行させるものである。

3.3 溶銑鍋による脱りん設備

脱りん設備の概要を Fig. 3 に示す。本設備は2鍋同時処理が可能である。脱りん剤として生石灰、螢石、ミルスケールを使用している。生石灰の80%は窒素をキャリアーガスとしてランスよりインジェクションし、残り20%は上置添加している。脱りん時の酸素源として酸素ガスとミルスケールを使用している。酸素ガスは水冷ランスより上吹きし、脱りん処理後温度が所定温度(1300~1350°C)になるように、酸素ガス比率(= O_2 ガス)/[(O_2 ガス)+(O_2 スケール)] $\times 100$ を調整している。

4. 溶銑脱珪操業

脱珪処理においては NRP 脱りん率安定と脱りん処理時のスラグフォーミング抑制のため、脱珪後 [Si] の低位安定および135 t/鍋の受銑量確保が重要である。

脱珪後 [Si] は NRP 稼動後、操業の安定とともに逐次低下し、61年1月以後 [Si] $\leq 0.15\%$ の比率は90%以上に達している。

また、TIM を採用した結果、鑄床での脱珪反応が速やかに進み、鍋内フォーミングが抑制でき、受銑量が安定して135 t/鍋以上確保されている。

5. 溶銑脱りん操業

Fig. 4 に示すように NRP 処理量は昭和61年11月段階で12万t/月以上に達している。

当所の脱りん処理の特徴は

1) 酸素源の供給はすべて上部添加(純酸素上吹き、ミルスケール上置)で行い、生石灰をインジェクションすることにより、溶銑の攪拌力を増加させ、パーマネント反応による脱りん反応を促進する。

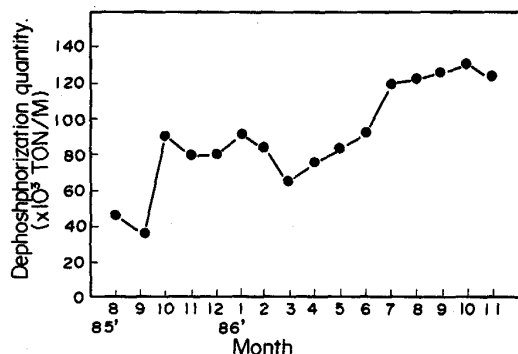


Fig. 4. Transition of dephosphorization quantity.

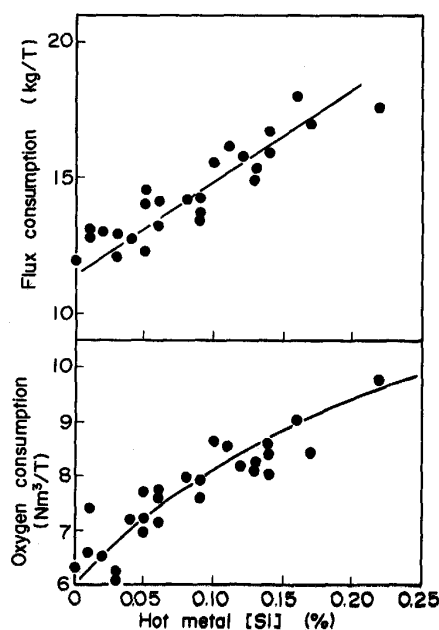


Fig. 5. Relation between Flux and Oxygen consumption.

2) 酸素ガスとスケールの比率を調整することにより、脱りんに適正な温度(1300~1320°C)を確保することにある。

以下に脱りんにおよぼす緒要因の影響について述べる。

5.1 処理前[Si]の影響

目標 [P]=0.013% の場合の処理前 [Si] と脱りん剤 ($\text{CaO} + \text{CaF}_2$) 原単位および酸素原単位の関係を Fig. 5 に示す。 CaO/CaF_2 比は5~6である。脱りん処理コストの低減には脱りん剤原単位の低減が効果的であるが、そのために処理前 [Si] の低減が重要である。さらに、処理前 [Si] の低減はスラグフォーミングの抑制すなわち操業の安定にも重要となる。

5.2 スラグ塩基度の影響

スラグ塩基度とりん分配比の関係を Fig. 6 に示したが、塩基度6~7においてりん分配比は最大となつている。塩基度7以上では、石灰の未滓化が生じりん分配比

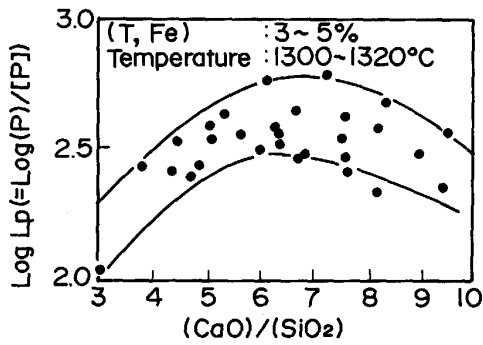


Fig. 6. Relation between basicity and log L_p .

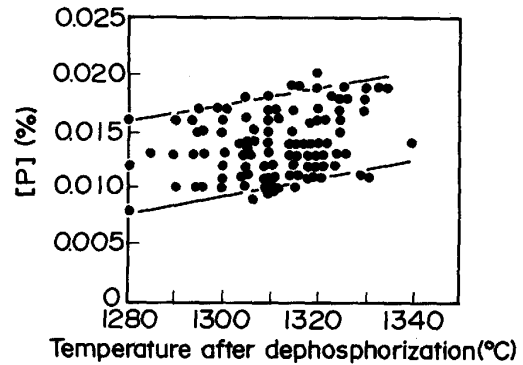


Fig. 9. Relation between temperature and $[P]$ after treatment.

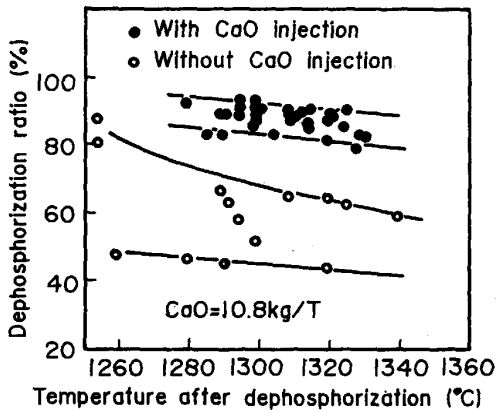


Fig. 7. Effect of powder injection on dephosphorization.

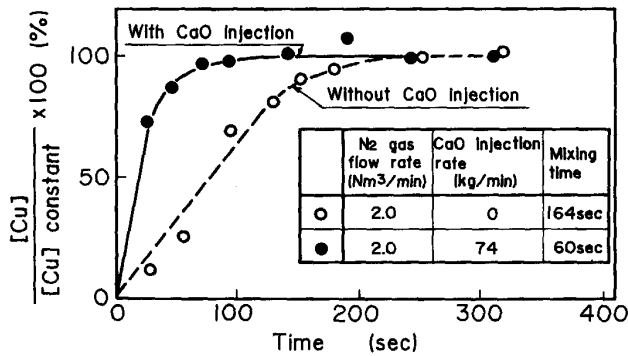


Fig. 8. Effect of CaO injection on mixing time.

はかえつて低下する。このため、配合塩基度は最大でも7になるように調整している。

5.3 生石灰インジェクションの効果

生石灰インジェクション時の脱りん率をインジェクションなしの場合(生石灰, ミルスケール, 螢石等を上置きし, 窒素ガスでバブリングする方法で諸元単位はインジェクション時と同等)と比較して Fig. 7 に脱りん処理後温度の関数として示す。生石灰インジェクションにより, 脱りん率は大幅に(30%以上)向上している。脱りん率向上は以下に示すようなインジェクションによ

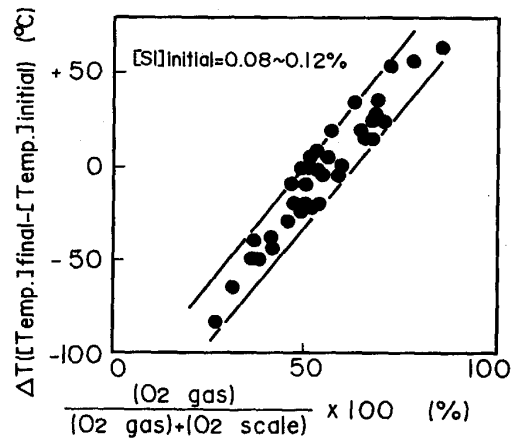


Fig. 10. Relation between oxygen gas ratio and temperature change in dephosphorization.

る溶銑の攪拌力向上に起因すると考えられる。粉体インジェクションの攪拌におよぼす効果は Cu トレーサーによる均一混合時間測定により調査した。

Fig. 8 に示すように粉体インジェクションにより, 溶銑の均一混合時間が大幅に短縮される。この溶銑攪拌力の増大が脱りん率向上につながったと考えられる。

5.4 酸素ガス使用

Fig. 9 に脱りん処理後の温度と $[P]$ の関係を示す。脱りん率の高位安定のためには処理後温度は当然低い方が望ましい。一方, 転炉での熱余裕のためには高い処理後温度が要求される。

従つて, 脱りん率に影響をおよぼさない範囲内で極力処理後温度を上げ, かつ安定させることが重要である。処理前 $[Si]$, 温度のばらつきをカバーし, 処理後温度を $1300\sim 1320^{\circ}C$ に制御し脱りん率を $80\sim 90\%$ と安定させるため気体酸素比率を調整している。

Fig. 10 に気体酸素比率と脱りん時温度変化量の関係を示す。気体酸素比率を 50% 以上とすることにより, 脱りん処理時の温度低下を補償できる。

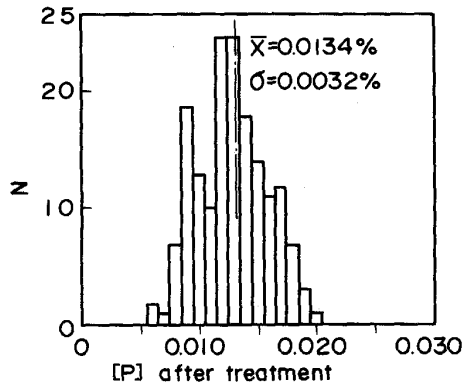


Fig. 11. Distribution of [P] after treatment.

Table 1. Operation conditions of less slag refining.

No. 2 BOF shop		250 T×2/3
Top. and bottom blow		NK-CB
Gas condition	Lance height Oxygen flow rate Bottom gas flow rate	1.6 m 1.6 Nm ³ /min t 0.17 Nm ³ /min t
Submaterial	Burned lime Light burned dolomite Flousspar Manganese ore	5~6 kg/T 1~3 kg/T 0.8 kg/T 15~20 kg/T

5.5 処理後 [P] レベル

処理前 [Si] の低減, スラグ塩基度コントロール, 生石灰インジェクションおよび処理後温度コントロール等の技術により Fig. 11 に示すように処理後 [P] は平均で 0.013% と低いレベルとなっている。

6. レススラグ転炉操業

溶銑脱りん処理により転炉装入時の平均 [P] レベル 0.013% が得られるようになり, 高マンガン鋼の吹錬時多量のマンガン鉱石投入によりマンガン系合金鉄の合理化が可能となった。この吹錬においては, (1)スラグ量の低減技術, (2)マンガン分配比低減技術が重要であり, 以下この点を主体に述べる。

6.1 操業条件

当所第2製鋼工場転炉設備の主な仕様およびレススラグ吹錬時の操業条件を Table 1 に示す。

6.2 塩基度コントロールとスラグ量低減

マンガン分配比は (T. Fe) と温度²⁾ 以外に塩基度の影響を受け, Fig. 12 に示したように塩基度3以上ではほぼ一定であるが, 3以下では急上昇する傾向にある。従ってスラグ量が塩基度にはほぼ比例して増加するのでマンガン歩留りは塩基度3で最大となる。そこで石灰, ドロマイト等の造滓剤投入量は基本的には塩基度が3になるように決めている。その結果スラグ量はおよそ 25 kg/T となる。

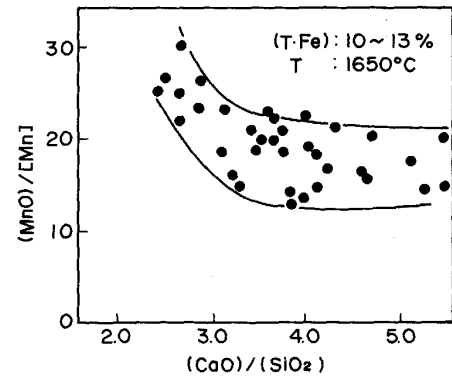


Fig. 12. Manganese partition ratio and slag basicity.

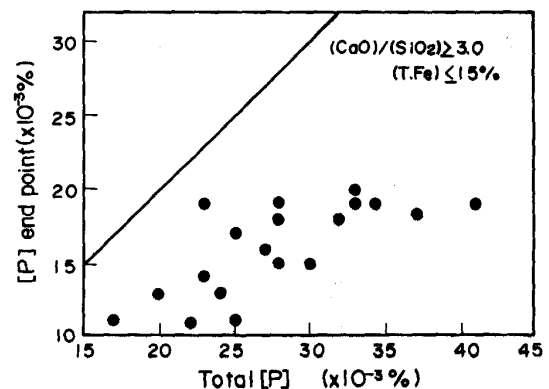


Fig. 13. NK-CB end point [P] and charged total [P].

レススラグ吹錬での脱りん・復りん挙動には前チャージの炉内残留スラグおよび脱りん滓中の (P) の影響が考えられる。Fig. 13 に転炉装入 [P] (溶銑 [P], 炉内残留スラグ・鍋内脱りんスラグ (P) で決まる) と吹止 [P] の関係を示したが, 25 kg/T と少ないスラグ量にもかかわらずその脱りん能はスペック [P] ≤ 0.025 確保に対して余裕を残している。

なお, スラグ量 25 kg/T レベルでのレススラグ吹錬では耐火物損傷が問題とされているケースもある³⁾ が, 当所では NK-AP⁶⁾ (取鍋精錬設備) の導入による出鋼温度低減および (T. Fe) 低減対策によつて転炉寿命低下を抑えており, マンガン鉱石大量溶融還元の特長がレススラグ化によるレンガ損傷増のデメリットをはるかに上まわるようにしている。

6.3 脈石分の低減

塩基度3を確保しつつスラグ量を低減するには転炉装入 SiO₂ 分の低減が必要であるが, そのためには極力 SiO₂ 分の低いマンガン鉱石 (% SiO₂ = 6) を選択することと SiO₂ ソースとして無視できない燃料としての炭材使用量をミニマム化することが重要である。

マンガン鉱石 15~20 kg/T の還元に従来 8 kg/T の炭材を使用していたが、(1)溶銑鍋蓋設置による溶銑温度上昇 10°C、(2)無倒炉出鋼等による出鋼温度の低減 5°C、(3) NRP 処理後温度上昇 10°C 等と転炉でのいわゆる熱余裕を拡大 (マンガン鉱還元量として 5 kg/T) し炭材使用量を 3 kg/T にまで低減した。その結果前記のようにスラグ量を現状 25 kg/T 程度にまで低減できている。

6.4 (T. Fe) 低減対策

スラグ量の低減、塩基度コントロールに加えて(T. Fe)の低減もマンガン歩留り向上に極めて重要である。そこで上底吹吹錬条件の改善により、レススラグ吹錬終点における (T. Fe) 低減を図つた。

6.4.1 吹錬条件の改善

Table. 2 にレススラグ吹錬条件を示す。従来の吹錬条件と比較して主な改善内容は以下の2点である。

(1)遷移[C]近傍まで上吹送酸量増加による攪拌力アップ。

(2)遷移 [C] 近傍からの上吹送酸量の最適パターン化と底吹ガス量の増加。

ここで重要な要素技術は溶鋼中 [C] を正確に推定することであり、従来より実施している計算機制御をベースにレススラグ吹錬用としてロジックを以下のように組み立てた。

6.4.2 [C] 推定と吹錬パターン自動変更

以下の基本式(1),(2),(3)を用いて推定 [C] を算出している。

<基本式>

$$O_c = T_o - O_{Si,Mn,P} + O_{Mn,ore} + O_{ore} + O_{scale} - O_{coke} \dots\dots\dots (1)$$

$$[C]_E \geq [C]_T : O_c = \left(W_{pig} - W_{st} \times \frac{[C]_E}{100} \right) B_o \dots (2)$$

$$[C]_E < [C]_T : O_c = \left(W_{pig} - W_{st} \times \frac{[C]_T}{100} \div W_{st} \times \frac{[C]_T - [C]_E}{100} \times \ln \left(\frac{[C]_T - [C]_L}{[C]_E - [C]_L} \right) \right) / B_o \dots\dots (3)$$

ここで、 O_c : 脱炭消費酸素量 (Nm³)

- $O_{Si, Mn, P}$: 脱珪, 脱マンガン, 脱りん消費酸素量 (Nm³)
- $O_{Mn, ore}$: Mn 鉱石供給酸素量 (Nm³)
- O_{ore} : 鉄鉱石供給酸素量 (Nm³)
- O_{scale} : ミルスケール供給酸素量 (Nm³)
- O_{coke} : 炭材消費酸素量 (Nm³)
- T_o : 総酸素量 (Nm³)
- W_{pig} : 銑鉄量 (kg)
- W_{st} : 溶鋼量 (kg)
- $[C]_E$: 終点目標 [C] (%)
- $[C]_T$: 脱炭遷移 [C] (%)
- $[C]_L$: 脱炭限界 [C] (平衡 (FeO) 活量が1に相当する % [C]) (%)
- B_o : 最高脱炭速度 (kg/Nm³)

Fig. 14 に鋼中 [C]=0.5% をこのスタティックモデルで推定した結果を示す。[C]±0.1% の範囲内での

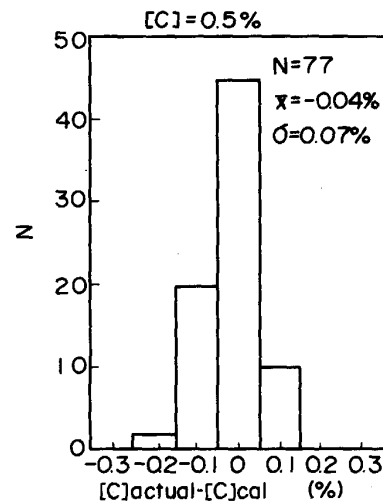


Fig. 14. Distribution of the deviation of [C] estimated from the [C] observed.

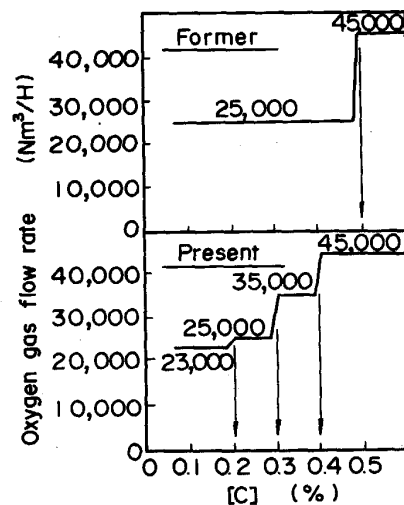


Fig. 15. Improvement of oxygen top blow pattern in less slag NK-CB operation.

Table 2. Comparison of blow conditions between the former and the present in the less-slag NK-CB operation.

		former I	present II
Oxygen gas (Nm ³ /min t)	[C] ≥ [C] _T	2.4	3.2
	[C] < [C] _T	1.6	≥1.6*
Bottom blow gas (Nm ³ /min t)	all through	0.10	0.17

* Stepwisely reduced (see Fig. 15)

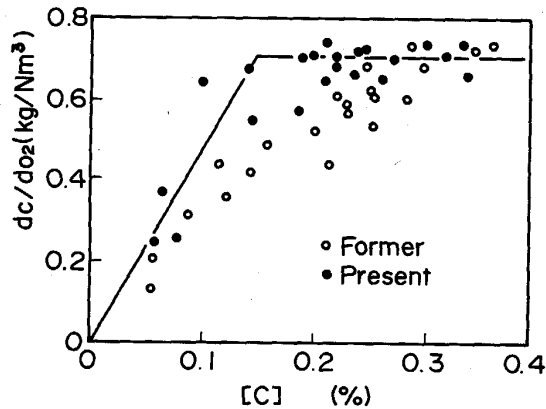


Fig. 16. Comparison of the decarburization efficiency between the former and the present blow in less-slag NK-CB.

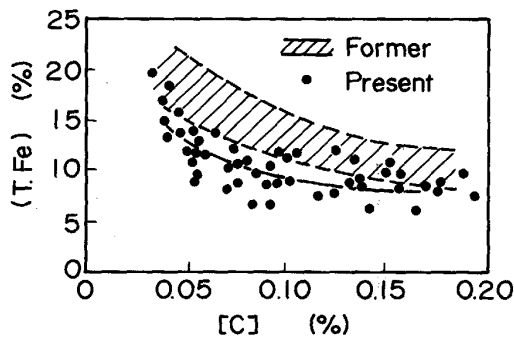


Fig. 17. Relation between [C] and (T.Fe).

[C] の推定が可能になり、この結果をもとにして吹錬パターンの自動変更を行った。

Fig. 15 に吹錬パターンの一例を示す。遷移 [C] 近傍まで上吹送酸量を脱炭最盛期レベルに維持し、その後脱炭酸素効率の低下に従って送酸量を段階的に低下させることを特徴としている。

6.4.3 末期脱炭酸素効率向上効果

前記対策を実施した結果を Fig. 16 に示す。改善前と比較して吹錬末期遷移 [C] 近傍での脱炭酸素効率が向上していることがわかる。

Fig. 17 に吹止め [C] と (T. Fe) の関係を示す。当所においては低炭素規格 ([C]=0.04~0.08%) の対象鋼種が多く、そのため従来レススラグ吹錬では (T. Fe) は 12~20% となっていたが、今回の改善により比較的 low carbon 域まで (T. Fe) の低位安定が可能となった (従来より (T. Fe) が約 4~5% 低下)。

6.5 マンガン歩留り

前述のようにスラグ量が 25 kg/T と従来の約 1/4 となり、かつ (T. Fe) も従来の NK-CB より同一 [C] レベルで 4~5% 低下し、更に [C] 制御精度の向上により吹止め [C] をより高くコントロールすることが可

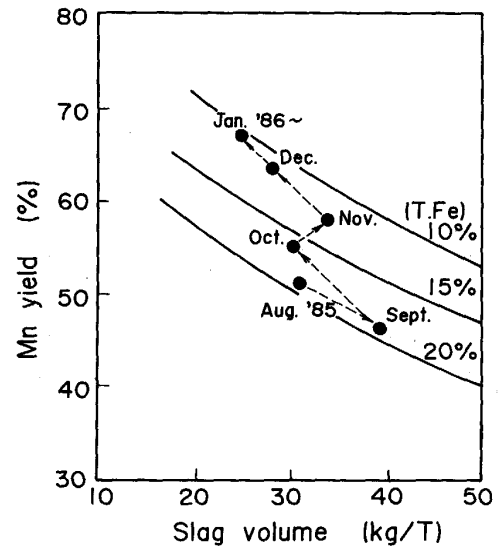


Fig. 18. Improvement of manganese yield by the reduction of slag volume and (T.Fe).

能になったため (T. Fe) は最終的に 8% 程度低下した。その結果マンガン歩留りは [C]=0.1%, [Mn]=1.0%, マンガン鉱石投入量 15~20 kg/T の条件下で 65~70% にまで向上した。マンガン歩留りとその向上経過をスラグボリュームの関数として Fig. 18 に示した。図中 (T. Fe) をパラメーターに実績の回帰線を実線で示した。

7. 結 言

脱りんを主体とした溶銑処理とレススラグ吹錬実績について概観した。高 Mn 鋼を主たる対象鋼種とした溶銑脱りん-レススラグ吹錬の大量生産 (12 万 t/月以上) の実績を整理して、以下の知見が得られた。

1) 高炉铸床脱珪における TIM の採用により、脱珪後 [Si] ≤ 0.15% 比率が 90% 以上の安定した低 Si 操業が確立し、高塩基度での脱りん処理が可能となった。また、粉体インジェクションによる攪拌力の増加により脱りん率は向上し、その結果処理後 [P] レベルを 0.013% 前後と安定させることが可能となった。

2) 脱りん処理溶銑温度に応じて酸素ガス比率を調整し処理後温度を 1300~1320°C にコントロールできた。この結果処理後 [P] の低位安定とともに、転炉熱余裕の拡大が可能となった。

3) 上述のごとく処理後 [P] が低位安定した結果、転炉吹錬時媒溶剤の低減が可能となり、また、脈石の少ないマンガン鉱石の使用とコークス使用量低減の結果、転炉スラグボリュームは 25 kg/T まで、低減できた。

4) 遷移 [C] 近傍までの上吹送酸量の増加およびその後の脱炭効率低下に応じて上吹酸素量を低下し、かつ、

底吹ガス量を増加することにより、低炭域 ($[C] = 0.10\%$) においても (T. Fe) 10% 前後と従来より約 8% 低減した。

5) スラグ量の低減、塩基度コントロールおよび (T. Fe) 低減により低炭 ($[C] = 0.10\%$)、高マンガン ($[Mn] = 1.0\%$) において 65~70% の高いマンガン歩留り達成が 10 万 t/月以上の大量生産ベースで可能になり、新製鋼プロセスによる転炉溶製コストの低減に寄与している。

溶銑脱りん処理およびレススラグ吹錬操業のより一層の安定化を図ることが今後の課題である。

文 献

- 1) G. S. KOLGANOV, V. I. TUPITSA, V. G. PORKHUM and V. D. KOLESNIK: *Stahl* (1974) 8, p. 687
- 2) 水渡英昭, 井上 亮: *鉄と鋼*, 70 (1984), p. 672
- 3) 川崎正蔵, 青木松秀, 武林俊治, 勝田順一郎, 木村雅保, 源間信行: *R & D 神戸製鋼技報*, 36 (1986), p. 23
- 4) 野村 寛, 篤田 一, 田崎哲造, 山田純夫, 朝穂隆一, 江本寛治: *川崎製鉄技報*, 18 (1986), p. 14
- 5) 堀口 浩, 古崎 宣, 稲葉東寛, 山本利樹, 吉田基樹, 山本弘明, 本多清之: *鉄と鋼*, 70 (1984), S 1013
- 6) K. KOYANO, Y. SHIRATANI, S. UCHIDA and H. NAKASHIMA: *Proceedings of 5th IISC, 69th Steelmaking Conference, Washington* (1986 年 4 月)