
上底吹き転炉における予備処理溶銑を用いた高炭素鋼の製造

Production of High Carbon Steel by Using Preliminarily Treated Hot Metal in Top and Bottom Blown Converter

野村 寛(Hiroshi Nomura) 馬田 一(Hajime Bada) 田岡 啓造(Keizo Taoka) 山田 純夫(Sumio Yamada) 朝穂 隆一(Ryuichi Asaho) 江本 寛治(Kanji Emoto)

要旨：

千葉製鉄所第 1 製鋼工場では高炭素鋼の約 90%を予備処理溶銑を用い、上底吹き転炉(K-BOP)で脱炭するプロセスで溶製している。このプロセスは複合吹錬技術を最大限に駆使したものであり、主な特徴を示すと、(1) コークス燃焼による熱補償 (2) コークス中からの加硫に対する気化脱硫反応の利用 (3) 低い酸素ポテンシャルを利用した Mn 鉱石の溶融還元 (4) 還元精錬による脱酸、脱硫および成分調整などがあげられる。この結果、石炭や合金鉄の削減、出鋼温度の低下といった経済的なメリットのみならず、清浄度の向上という品質的改善をも得ることができた。

Synopsis：

Approximately 90% of high carbon steel is produced by a process newly developed at No.1 Steelmaking Shop of Chiba Works. This new process, which uses dephosphorized hot metal and top-and bottom-blown converter (K-BOP), can achieve the maximum benefits of compound metallurgical techniques. Its features are following. (1) Heat compensation by coke charging through application of desulfurization in gas phase to prevent sulfur pick-up. (2) Reduction of manganese ore by carbon in low oxygen potential (3) Desulfurization, deoxidization and chemical adjustment by reduction refining. Significant benefits, such as decrease in flux and alloy consumption, lowering of tapping temperatures, and improvement on quality including cleanliness are achieved by this newly-developed process.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

上底吹き転炉における予備処理溶銑を用いた 高炭素鋼の製造*

川崎製鉄技報
18 (1986) 1, 14-19

Production of High Carbon Steel by Using Preliminarily Treated Hot Metal in Top and Bottom Blown Converter



野村 寛
Hiroshi Nomura
千葉製鉄所 製鋼部第
1 製鋼課 課長



馬田 一
Hajime Bada
千葉製鉄所 製鋼部第
1 製鋼課 課長



岡岡 啓造
Keizo Taoka
千葉製鉄所 製鋼部製
鋼技術室 主任(掛長)



山田 純夫
Sumio Yamada
千葉製鉄所 製鋼部第
2 製鋼課 掛長(課長
補)



朝徳 隆一
Ryuichi Asaho
千葉製鉄所 製鋼部製
鋼技術室 主任(課長)



江本 寛治
Kanji Emoto
千葉製鉄所 製鋼部
部長

要旨

千葉製鉄所第1製鋼工場では高炭素鋼の約90%を予備処理溶銑を用い、上底吹き転炉(K-BOP)で脱炭するプロセスで溶製している。このプロセスは複合吹錬技術を最大限に駆使したものであり、主な特徴を示すと、

- (1) コークス燃焼による熱補償
 - (2) コークス中からの加硫に対する気化脱硫反応の利用
 - (3) 低い酸素ポテンシャルを利用した Mn 鉱石の溶融還元
 - (4) 還元精錬による脱酸、脱硫および成分調整
- などがあげられる。この結果、石炭や合金鉄の削減、出鋼温度の低下といった経済的なメリットのみならず、清浄度の向上という品質的改善をも得ることができた。

Synopsis:

Approximately 90% of high carbon steel is produced by a process newly developed at No. 1 Steelmaking Shop of Chiba Works. This new process, which uses dephosphorized hot metal and top-and-bottom-blown converter (K-BOP), can achieve the maximum benefits of compound metallurgical techniques. Its features are following.

- (1) Heat compensation by coke charging through application of desulfurization in gas phase to prevent sulfur pick-up
- (2) Reduction of manganese ore by carbon in low oxygen potential
- (3) Desulfurization, deoxidation and chemical adjustment by re-reduction refining

Significant benefits, such as decreases in flux and alloy consumption, lowering of tapping temperatures, and improvement on quality including cleanliness are achieved by this newly-developed process.

1 緒 言

近年の転炉を中心とする製鋼プロセスの進歩には目覚ましいものがある。その代表例は、溶銑予備処理技術¹⁾と複合吹錬技術²⁾であると言えよう。各々の技術は鋼材の高級品質化と精錬機能の分化によるプロセスの合理化と最適化を追求していく中で発展してきたものであり、両技術の応用は非常に優れた数々の成果³⁾を生み出している。

千葉製鉄所第1製鋼工場においても、第6高炉の安定した低 Si 操業⁴⁾と铸床脱 Si 技術⁵⁾とによって得られる低 Si 溶銑の石灰系フラックスによる溶銑脱 P 技術⁶⁾と、Q-BOP と LD 各々の長所を取り入れて開発した上底吹き転炉(K-BOP)⁷⁾の複合吹錬技術とを組み合わせることにより、種々のプロセス改善を実現してきている。その一例が既に発表したクロム系ステンレス鋼の溶製⁸⁾である。本報では、さらにこれらの技術を高炭素鋼の精錬に適用した結果、多大

な経済的効果や品質の向上とともに冶金特性について有益な知見が得られたので、その内容について述べる。

2 精錬プロセス

従来の高炭素鋼の精錬プロセスは、溶銑段階で S を除去し、転炉内で脱 P 反応を行うものであり、以下の問題点を有していた。

- (1) C を吹き下げて酸素ポテンシャルを上げる必要があり、スラグ中への鉄ロス、脱酸材の原単位が高い。
- (2) Mn 等の合金鉄や加炭材を出鋼中またはそれ以降の段階で添加する必要があり、出鋼温度が高い。
- (3) 高温域での脱 P 反応促進のため、石灰原単位が高い。

これらを解決することを目的として開発したのが、本プロセスである。

* 昭和60年10月28日原稿受付

2.1 溶銹予備処理

本プロセスの特徴の一つは溶銹段階でPを除去し、転炉での脱P負荷を皆無にすることである。Fig. 1 に溶銹予備処理設備の概要を、また Table 1 に処理前後の成分および温度の変化を示す。処理前の溶銹 Si は 0.10% 程度に安定しており、約 80 kg/t のフラックス原単位で処理後のPは製品の日標値以下の 0.015% まで低下している。この際、後述するように転炉での還元期を設けていることにより、Sについては特に注意する必要はない。処理中の溶銹温度の降下は大きく約 150°C に達する。温度降下の防止を図る目的で、500 kg/min の高速インジェクションを採用しており、60 分以内で2ヒート分の処理は完了する。

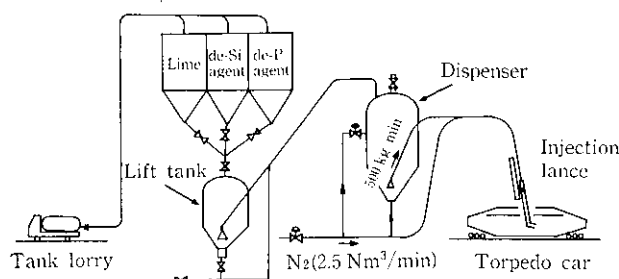


Fig. 1 Schematic drawing of pretreatment of hot metal

Table 1 Change of chemical composition and temperature of hot metal

	Chemical composition (%)					Temp. (°C)
	C	Si	Mn	P	S	
Before treatment	4.49	0.10	0.19	0.133	0.049	1370
After treatment	4.23	—	0.08	0.015	0.036	1220

2.2 K-BOP 吹錬

K-BOP の設備概要を Table 2 に示す。本転炉の特徴は K-BOP の強い底吹による攪拌力と、上吹ランスの持つ冶金学的な効果とを複合せた点にある。代表的な吹錬の手順を Fig. 2 に示す。すなわち、K-BOP では、Mn, Ni, Cr, Mo の成分を目標成分まで調整すると同時にコークスを利用して昇熱していく。そして、目標吹止 C・温度に達した時点で酸化脱炭吹錬を停止し、その後 FeSi を炉

Table 2 Specifications of K-BOP

Top and bottom blowing converter	85 t × 2	
Combination of gases	Inner: O ₂ , O ₂ + Ar(N ₂), Ar(N ₂) Outer: Propane, Propane + Ar(N ₂), Ar(N ₂)	
Oxygen flow rate	Top lance	175 Nm ³ /min max.
	Bottom tuyere	100 Nm ³ /min max.
Flux injection (CaO or CaCO ₃)	500 kg/min max.	
Waste gas treatment	OG type	

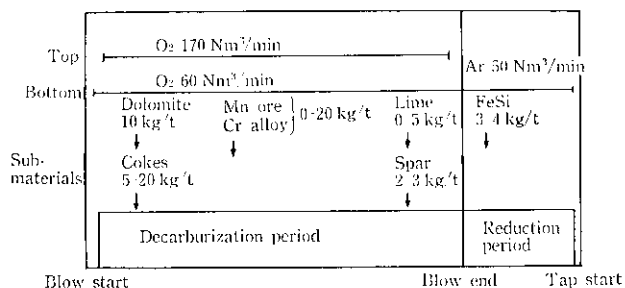


Fig. 2 Typical refining procedure of new process

内に投入し、Ar を用いた還元吹錬により脱硫・脱酸を行い出鋼する。

3 操業結果と考察

3.1 熱補償

Fig. 3 に Mn 鉱石投入ヒートの熱バランス例を示すが、本プロセスでは以下の理由がある場合には熱補償が必須となる。

- (1) 溶銹予備処理中の温度降下が大きく、溶銹温度が低い。
- (2) Mn, Ni, Cr, Mo 等の合金元素の添加溶解を炉内で行う。
- (3) 脱Pをする必要がなく、かつ高炭素域で吹止めるので、Fe, Mn 等の酸化反応熱が期待できない。

熱源としては、排ガスを CO ガスとして回収でき、かつ造滓成分の少ないコークスが経済的に最適である。しかしながら、コークス中には S 分が約 0.5% と多く含まれていること、および鋼浴への加炭効率が悪いと終点 C の適中制御が不安定となることが懸念される。この問題に対し、K-BOP においては後述する高い気化脱硫能と還元脱硫の実施ならびに強い底吹の攪拌力による鋼浴成分の均一化によって解決している。コークスの炉上添加による熱補償は安定しており、Fig. 4 にコークス原単位と溶鋼の温度上昇との関係を示すが、その昇熱能は 1 kg/t 当たり約 6.8°C である。

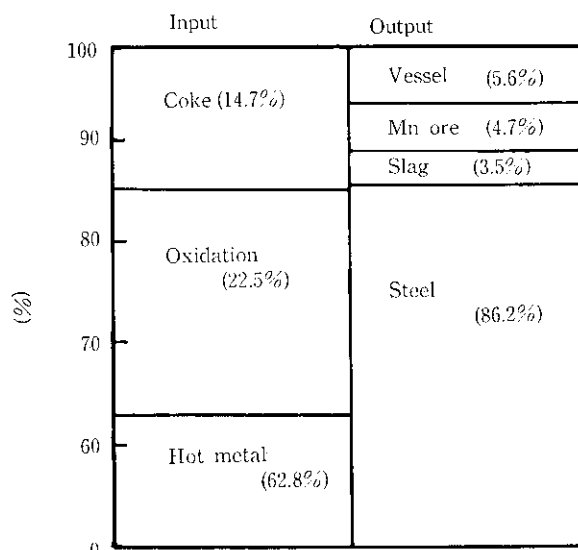


Fig. 3 Heat balance in high carbon steel with coke addition

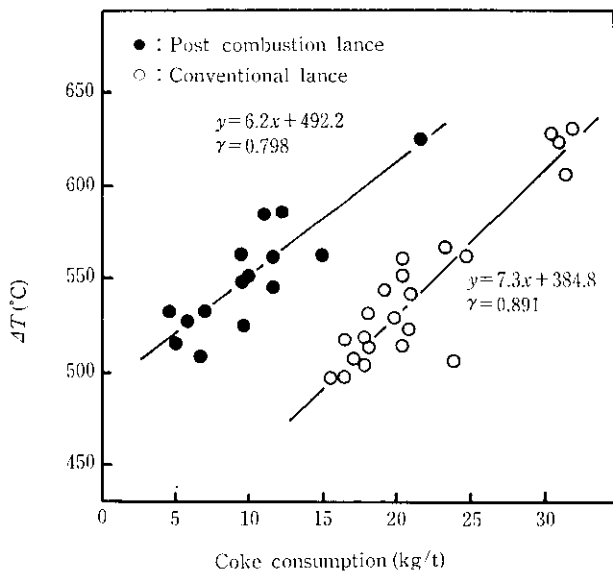


Fig. 4 Relationship between coke consumption and increase of temperature of molten metal (ΔT) (ΔT : includes the heat content increase equivalent to increase of coolant)

今一つの熱補償技術として、上吹酸素による二次燃焼を採用している。二次燃焼の実施は転炉耐火物の溶損を助長するとされているが、ランスノズル形状と補助孔位置の最適化により問題なく操業している。Fig. 4 はその効果を示しているが、約 13 kg/t のコークス原単位低減が達成されており、昇熱コストの低減に寄与している。

3.2 Mn 鉱石の溶融還元

本プロセスは目標 C が 0.15% 以上の鋼種に適用している。K-BOP は底吹きによる攪拌力が大きいため、脱炭吹錬中の鋼浴とスラグ中の酸素ポテンシャルは低値を示す。Fig. 5 は吹止時および還元後の鋼浴 C とスラグ中の T. Fe ならびに鋼中酸素との関係を示す。本プロセスでは脱磷反応を促進させる必要がなく、吹止 C を高く設定できる。この吹止時の低い酸素ポテンシャルと、還元脱硫および転炉耐火物保護に必要な約 15 kg/t の石灰等の造滓材原単位による少量のスラグボリュームは Mn 鉱石の溶融還元極めて有利である。

Fig. 6 に Mn 鉱石の溶融還元について示す。図より明らかなように、Mn 鉱石の溶鋼 C による還元は脱炭吹錬中に進行しており、従来法と比較してスラグボリュームの減少効果により Mn 歩留りは高い。吹止時では従来法は約 25% の Mn 歩留りであるが、本プロセスでは脱 P 負荷がないため高い溶鋼 C で吹止めることができ、Mn 歩留りは 80~95% にも達している。しかしながら、鋼浴 C が 0.30% 以下の領域では Mn 歩留りに低下が認められる。これは、C の低下に伴い酸素ポテンシャルが上昇するためと考えられる。そこで、目標 C が 0.15~0.30% の範囲の鋼種に関しては脱炭吹錬の末期に底吹酸素に不活性ガスを混合する希釈脱炭法を採用し、Mn の再酸化の防止に努めている。

このように、Mn 鉱石は溶融還元はほとんど脱炭吹錬中に進行するが、さらに還元吹錬時に投入される Si によるスラグ中の MnO の還元により、Mn 歩留りは 95% 以上に達する。還元期に投入される FeSi の原単位は成分調整のものも含めて 3~4 kg/t である。Fig. 7 はこの還元期中の成分変化を示しているが、約 3 分の攪拌で Mn の還元反応は脱硫反応と同時に完了している。

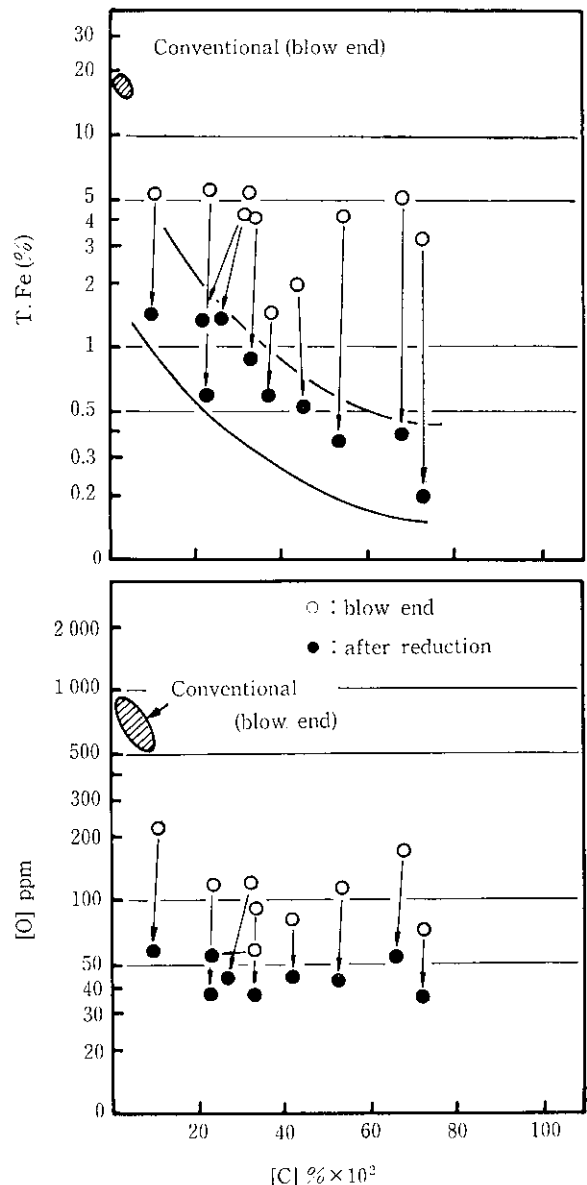
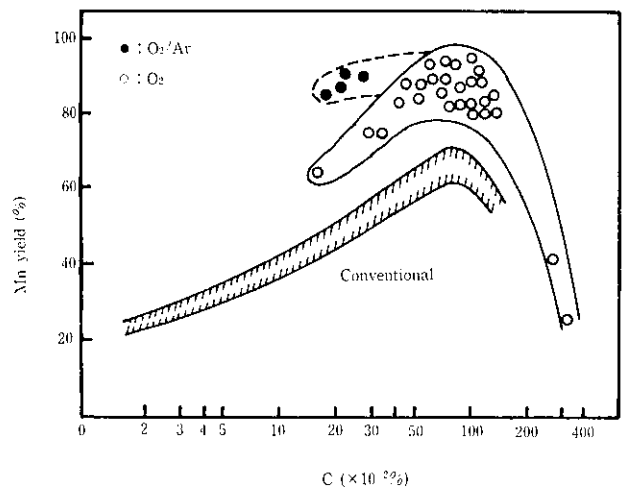


Fig. 5 Relation between [C], (T. Fe) and [O]



$$\text{Mn yield} = \frac{[\% \text{Mn}]_{\text{end point}} \times 10}{W_{\text{Mn ore}} (\text{kg/t}) \times 0.342 + [\% \text{Mn}]_{\text{hot metal}} \times 10}$$

Fig. 6 Relation between %C and Mn yield

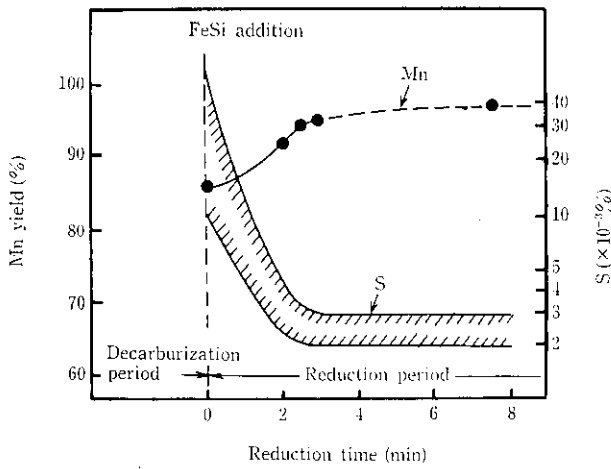


Fig. 7 Change of Mn yield and S content during reduction period

3.3 脱硫反応

熱補償の目的でコークスを大量に使用する場合、コークスからの加硫が問題とされる。本プロセスでは還元期を設けているため、脱硫の点で比較的可利であるが、加硫が大きい場合は、還元時間の延長やスラグ塩基度の上昇が懸念される。しかしながら、K-BOP においては Fig. 8 に示すようにコークスからの加硫を考えたインプットSに対し、吹止Sは著しく低く、約 70% もの脱硫が認められている。そこで、吹止時における S バランスを調査した結果が Fig. 9 である。インプット S に対し、約 50% の不明 S が認められる。

この現象については以下のように説明される。溶鋼からの直接的な S の酸化は熱力学的に期待することは難しいものの、スラグ中の S は酸化し易いことが知られている^{9),10)}。本プロセスでは脱炭吹錬期の低い酸素ポテンシャルと高塩基度のスラグおよび底吹き強い攪拌力とによって容易にスラグ-メタル間で脱硫反応が進行すると考えられる。スラグ中に吸収された S は、上吹きからのソフトブローの酸素によって増大する気相中の酸素ポテンシャルの影響を受け、スラグ-気相間での酸化脱硫反応が進行しているものと解釈できる。従って、この現象は Q-BOP や LD 転炉では経験されない

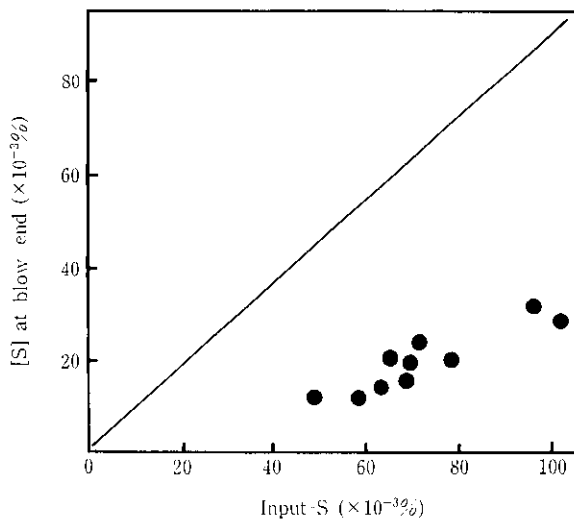


Fig. 8 Relation between the input-S content and the blow-end-S content

K-BOP 特有のものである。

この酸化脱硫により還元期の脱硫負荷は著しく軽減され、極めて少量の造滓材と短時間の還元処理により、溶鋼 S 0.005% 以下に低下する。還元期脱硫反応の状況を Fig. 10 に示す。ここで重要な

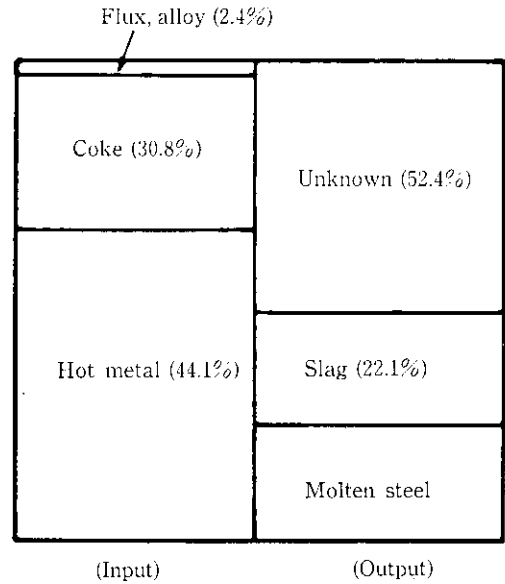


Fig. 9 Comparison of sulfur balance at blow-end

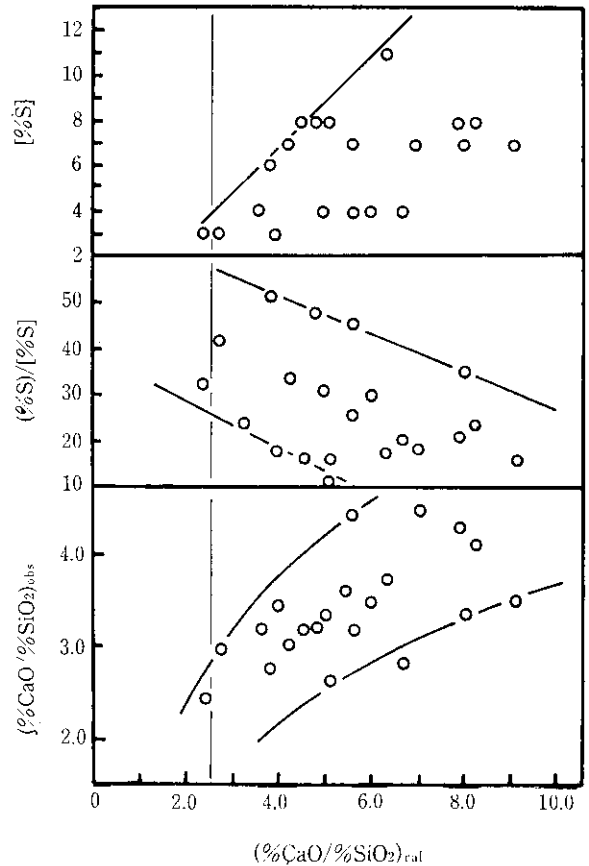


Fig. 10 Relations between calculated basicity and actual basicity, S distribution and S content in reduction period

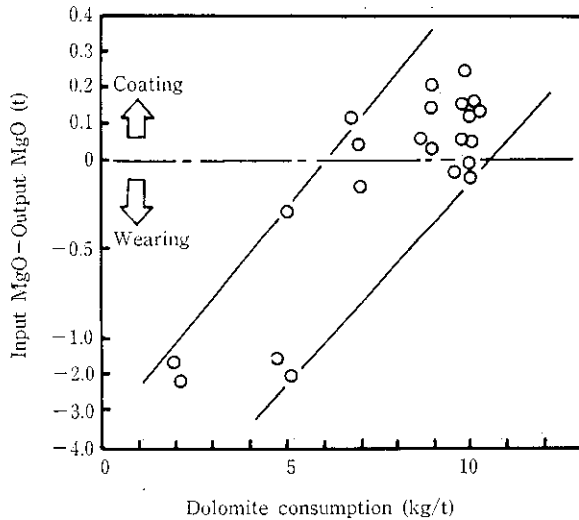


Fig. 11 Influence of dolomite consumption on refractory wearing

点は、スラグ塩基度を2.5にコントロールすることである。一般的に塩基度は高いほうが脱硫反応に有利であると考えられるが、それに伴うスラグ融点の上昇が反応速度の低下をもたらすと考えられる。本プロセスではむしろ低塩基度側で高い滓化率と高いS分配比を示し低い鋼浴Sが得られている。スラグ塩基度2.5未満を目標とすると、スラグの脱硫能が低下しS spec. を満足できない場合が発生する。

造滓材の原単位は、この脱硫に必要な塩基度2.5を確保するために必要な石灰と、Fig. 11に示す転炉耐火物の保護に必要な軽焼ドロマイトで決定され、約15 kg/tと低い値に止まっている。

3.4 ダストロス削減

一般に、本プロセスのようなスラグレスに近い形で吹錬がなされる場合に問題となるのはヒュームを発生によるダストロスの増大である。この抑制のためには上吹き酸素のソフトブロー化が有効であった。Fig. 12は吹錬中のOG集塵水中のダスト量の変化を示している。二次燃焼を目的とした上吹きランスの採用によるソフトブロー化は、ダスト量の半減をもたらした、ほぼ従来法なみのダスト量に

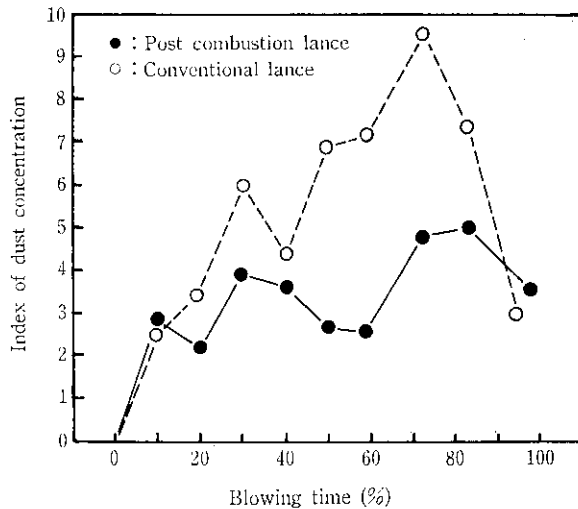


Fig. 12 Influence of post combustion lance on dust loss into exhaust gas

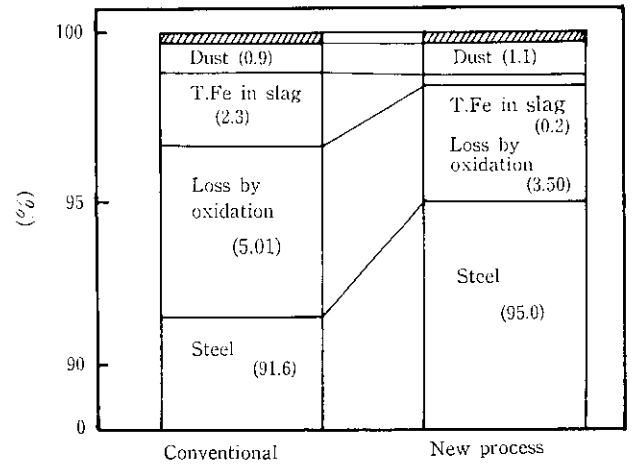


Fig. 13 Comparison of material balance between conventional and new processes

抑えることが可能となった。上吹きランスの改善と、スラグ中のメタル分がほぼ100%還元回収できることから、鉄源歩留りはFig. 13に示すように従来法と比較し3.4%も向上している。

3.5 経済的効果

以上述べてきたように本プロセスの適用はFig. 14に示すように8.2%もの高炭素鋼の製造コストの低減と、以下の項目に示す効果をもたらした。

- (1) 加炭材, FeMn, Alなどの合金鉄原単位の低減
- (2) 鉄歩留りの向上
- (3) 造滓材原単位の低減

それとともに忘れてはならないのは耐火物への影響である。従来法では高炭素鋼の出鋼温度は1670°C前後の極めて高いレベルにあった。これは出鋼後の復Pを防止する目的でスラグ流出を減少させるため出鋼時間を確保する必要があること、成分調整の目的で加炭材やFeMnなどの合金鉄を取鍋で添加する必要があることなどがその理由である。本プロセスではこの必要性は全て解消されFig. 15に示すごとく、大幅な出鋼温度の低下が可能となった。出鋼温度はその凝固温度にはほぼ比例し、目標Cの高い鋼種ほど低くなっている。出鋼温度の低下は転炉耐火物に対し、計り知れない効果をもたらしている。

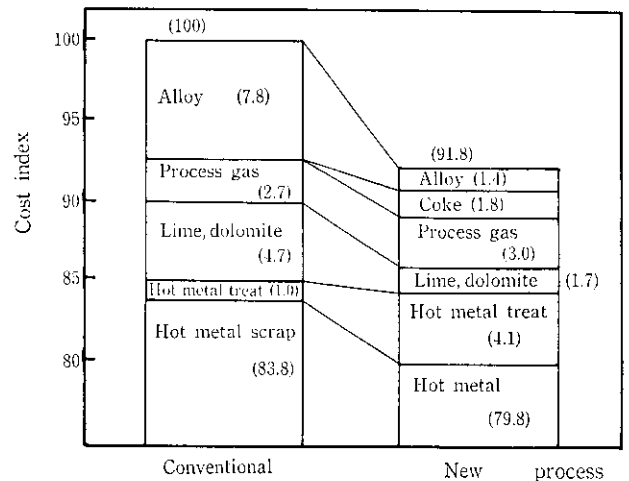


Fig. 14 Cost comparison between conventional and new processes

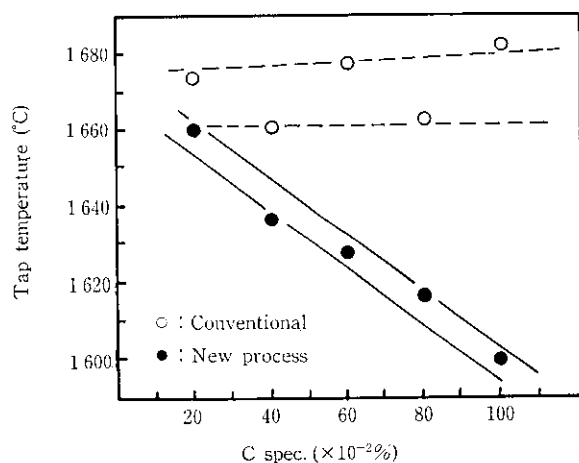


Fig. 15 Comparison of tap temperature between conventional and new processes

品質面においても転炉内で Si により脱酸され、50 ppm 程度まで酸素が低下する。従って出鋼後の Al 歩留りは非常に高く脱酸生成物も少ない。さらに、S も低レベルであることも寄与し、極めて清浄度の高い高炭素鋼の溶製が容易に行えることになった。

4 結 言

溶銑予備処理技術と複合吹錬技術とを結合させた極めて合理的な高炭素製造プロセスを確立できた。その特徴は、第1に溶銑段階で P を除去し転炉での脱 P 負荷を無くしたこと、第2に転炉で還元精錬を取入れ成分調整まで転炉内で行えることである。本プロセスは高炭素鋼の約 90% に適用されており、多大な経済的効果をもたらすことができたのみならず、品質の向上も達成することができた。

参 考 文 献

- 1) 姉崎正治, 城田良康: 鉄と鋼, **71** (1985) 3, 394
- 2) 植田嗣治, 丸川雄平, 姉崎正治: 鉄と鋼, **69** (1983) 1, 24
- 3) 木村雅保, 松井秀雄, 伊東修三, 齊藤 忠, 副島利行, 喜多村実: 鉄と鋼, **69** (1983) 15, 1893
- 4) 才野光男, 奥村和男, 河合隆成, 芹沢保文, 沢田寿郎, 桃川秀行: 鉄と鋼, **71** (1985) 4, S39
- 5) 徳尾 勝, 山田純夫, 山田博右, 江本寛治, 浜田俊二, 森 淳: 鉄と鋼, **71** (1985) 4, S109
- 6) 斎藤健志, 中西恭二, 三崎規生, 中井一吉, 大西正之: 鉄と鋼, **69** (1983) 15, 1802
- 7) 大谷尚史, 柴田 勝, 朝穂隆一, 浜田俊二, 矢治源平, 加藤嘉英: 川崎製鉄技報, **15** (1983) 2, 21
- 8) 山田純夫, 田岡啓造, 朝穂隆一, 広瀬充郎, 今井卓雄, 小沢三千晴: 鉄と鋼, **69** (1983) 15, 1886
- 9) E. T. Turkdogan and M. L. Pearce: *Trans. Metal Soc. AIME* **227** (1963) Aug., 940
- 10) A. D. Pelton, J. B. See, and J. F. Elliot: *Metal Trans. B.*, **5** (1974) May, 1163