
上底吹き転炉 (K-BOP) の操業技術の確立

Development of Top and Bottom Blown Converter (K-BOP)

永井 潤(Jun Nagai) 山本 武美(Takemi Yamamoto) 武 英雄(Hideo Take) 大
石 泉(Izumi Oishi) 大森 尚(Hisashi Ohmori) 飯田 義治(Yoshiharu Iida)

要旨：

上吹き転炉に底吹き転炉の利点を取り入れた上底吹き転炉 (K-BOP) を開発した。K-BOP は、吹錬酸素のおよそ 30%を底吹きし、攪拌力を底吹き転炉に近づけるとともに、微粉石灰をインジェクションできるようにした。水島製鉄所の第二製鋼工場 250t 転炉で実験を行い、多種、多様な鋼種に適した吹錬技術を開発し、上吹き転炉に対する優位性を立証した。特に、高温出鋼材での迅速出鋼技術、低シリコン銑の吹錬技術の確立により、石灰原単位、歩留などの経済的効果のみならず、プロセスの安定性、生産性が向上し、高脱ガス処理比、および高連铸比操業に対応した製鋼炉として優れていることがわかった。また、耐火物成績の向上、排ガス回収についても述べた。

Synopsis：

A combined blowing process, named K-BOP, has been developed at No.2 steelmaking shop, Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., by adding the facility of the bottom gas blowing to a 250t oxygen top blown converter to increase the stirring intensity of molten steel. To enhance the stirring of bath as intensive as that for Q-BOP, about 30% of total blowing oxygen is injected with powdered lime from bottom tuyeres, consisted of double concentric pipe. Precise and stable end-point control ([P] control, inclusive) at high tapping temperature has completed the "Quick and Direct Tapping Technique" so that improvement in steel yield, and consumption saving of refractory and lime have been achieved. K-BOP has exhibited not only economical merit but also high productivity and reliability, and is suited to integrated steel plant with high application ratio of vacuum degassing and continuous casting.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

永井 潤* 山本 武美** 武 英雄*** 大石 泉**** 大森 尚***** 飯田 義治*****

Development of Top and Bottom Blown Converter (K-BOP)

Jun Nagai, Takemi Yamamoto, Hideo Take, Izumi Oishi, Hisashi Ohmori, Yoshiharu Iida

要旨

上吹き転炉に底吹き転炉の利点を取り入れた上底吹き転炉 (K-BOP) を開発した。K-BOP は、吹錬酸素のおよそ 30% を底吹きし、攪拌力を底吹き転炉に近づけるとともに、微粉石灰をインジェクションできるようにした。水島製鉄所の第二製鋼工場 250 t 転炉で実験を行い、多種、多様な鋼種に適した吹錬技術を開発し、上吹き転炉に対する優位性を立証した。特に、高温出鋼材での迅速出鋼技術、低シリコン鉄の吹錬技術の確立により、石灰原単位、歩留などの経済的効果のみならず、プロセスの安定性、生産性が向上し、高脱ガス処理比、および高連鋳比操業に対応した製鋼がとして優れていることがわかった。また、耐火物成績の向上、排ガス回収についても述べた。

Synopsis:

A combined blowing process, named K-BOP, has been developed at No.2 steelmaking shop, Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., by adding the facility of the bottom gas blowing to a 250 t oxygen top blown converter to increase the stirring intensity of molten steel. To enhance the stirring of bath as intensive as that for Q-BOP, about 30% of total blowing oxygen is injected with powdered lime from bottom tuyeres, consisted of double concentric pipe.

Precise and stable end-point control (P control, inclusive) at high tapping temperature has completed the "Quick and Direct Tapping Technique" so that improvement in steel yield, and consumption saving of refractory and lime have been achieved. K-BOP has exhibited not only economical merit but also high productivity and reliability, and is suited to integrated steel plant with high application ratio of vacuum degassing and continuous casting.

1. 緒 言

1977年1月に、千葉製鉄所において、底吹き転炉が稼動して以来、転炉内の鋼浴攪拌強化が優れた冶金効果をもたらすことが認識された。また、吹錬、操業技術の開発により、底吹き転炉は、一貫製鉄所における製鋼炉として高い生産性と経済性を有することが立証された¹⁾。

このような背景のもとに、既存の上吹き転炉に炉底から攪拌用のガスを吹込む機能を加えた、いわゆる上底吹き転炉法の開発が各所で進められている²⁻⁴⁾。当所では、全吹錬酸素のおよそ 30% を底吹きするとともに、フラックスインジェクションが可能な、上底吹き転炉法 (K-BOP) を開発した^{5,6)}。

K-BOP 開発の基本思想は、従来の上吹き転炉の特徴に底吹き転炉の優れた特性を取り入れ、一層汎用性に富んだ製鋼炉を開発することであった。具体的には、以下の目標を設定した。

- (1) 溶鋼の攪拌力を底吹き転炉に近づける。
- (2) 底吹フラックスインジェクションの優れた冶金効果を、最大限に利用する。
- (3) 上吹きランス操作による、スラグコントロール機能を活用する。
- (4) 最終的には、高級鋼の大量生産に適する操業技術を確立する。

5 t 試験転炉による基本的な研究結果に基づき、1980年4月に水島製鉄所第二製鋼工場の250 t 炉を K-BOP に改造した。その後、設備、装置の改良に加え、多種多様な鋼種に適した K-BOP 操業技術の開発を行い、満足すべき結果を得た。

K-BOP の冶金特性については別途詳述⁷⁾したので、本報告では、主に吹錬、操業技術の開発について述べる。

2. 設備の基本設計と操業条件

2.1 設備の基本設計

K-BOP の概念図と主要諸元をそれぞれ Fig. 1, Table 1 に示す。炉体は 250 t 転炉を改造し、炉底は底吹き転炉と同様に、交換方

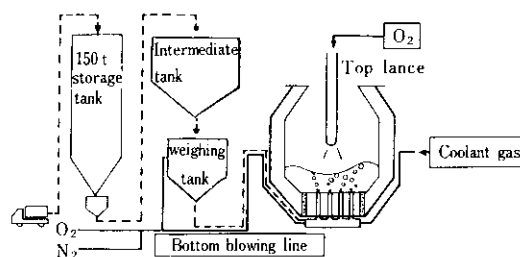


Fig. 1 Outline of K-BOP

Table 1 Specification of K-BOP at Mizushima Works

Heat size	250 t/heat
Bottom blown ratio of oxygen	25~40%
Time for perfect mixing	~ 20 s
Gases to be bottom-blown	O ₂ , N ₂ , Ar, LPG
Flux addition system	Lime injection through bottom tuyeres

* 水島製鉄所製鋼部長

*** 水島製鉄所製鋼部第二製鋼課掛長

***** 技術本部企画調整室主査 (部長補)

(昭和58年2月14日原稿受付)

** 水島製鉄所製鋼部製鋼技術室主査 (課長)

**** 水島製鉄所製鋼部炉材技術室主査 (課長)

***** 技術本部製鋼・鋼材技術部長

式とし、1バレル-2ボトム操業を基本とした。フラックスインジェクション設備は、微粉石灰全量を底吹き可能な能力とした。フラックスは、150t貯蔵タンクから中間タンクに空気輸送され、秤量タンクから、底吹き羽口を通して吹込まれる。羽口は、二重管構造とし、必要に応じて、羽口内管、外管とも、不活性ガスの吹込みが可能である。

底吹き酸素比（全吹錬酸素量に対する底吹き酸素量の割合、以下底吹き比）は、鋼浴の攪拌力を底吹き転炉に近づけると、必要なフラックスの全量が底吹きできるだけの搬送酸素量を確保することを前提に、25～40%とした。

均一混合時間は、底吹き比30%の時20秒程度となり、上吹き転炉の120秒に比べ大幅に短かく、底吹き転炉の10～15秒に近づいた⁶⁾。

2.2 操業条件

操業条件の概要を Table 2 に示す。溶製鋼種は薄板向低炭アルミキルド鋼を主に、高級電線管用および UO パイプ用素材を初めとする高級鋼が多いため、RH 脱ガス処理数は多く、平均出鋼温度は 1650℃ と高い。第二製鋼工場は、二基のスラブ連続機を有し、連続比率は 90% を越えている。

K-BOP 操業は、このような条件に対応できる吹錬技術の確立を必要とした。

Table 2 Typical condition of K-BOP operation

Steel grade	Hot strip : Low C, Al killed steel : Extra low C steel : Steel for high grade ERW pipe Heavy plate : Steel for UO pipe (X 60, X 70) : High tensile strength steel
Heat ratio to be RH degassed	30～40%
C.C.ratio	Over 90%
Temperature at blow end	Ave. 1650°C (1610～1700°C)
[C] at blow end	0.02～0.10%
[Si] of hot metal	0.20～0.50%
[P] of hot metal	0.110～0.150%

3. 冶金特性

K-BOP の冶金特性については、既報⁷⁾のとおりであるが以下に要約する。

- (1) 攪拌力の増大による、鋼浴及びスラグの過剰な鉄酸化の抑制と、フラグメタル反応の促進。
- (2) 炉底からのフラックスインジェクションによる、脱磷反応の促進と、スロッピングの抑制。
- (3) 上吹きランス、及び上底吹き吹錬パターンによる、滓化制御。

Fig. 2 に、吹止めの鋼中 [C] と [O] の関係を示す。K-BOP の攪拌力が底吹き転炉に近いので、[O] の値も似た傾向を示す。[O] が低いので、Al, Si, Mn などの脱酸剤原単位は低い。また、スラグ中 (T.Fe) が低いので、耐火物寿命、鋼の品質についても有利である。Fig. 3 は、吹止めスラグ中 (T.Fe) と、P 分配比の関係を示す。攪拌強化と微粉石灰のインジェクション効

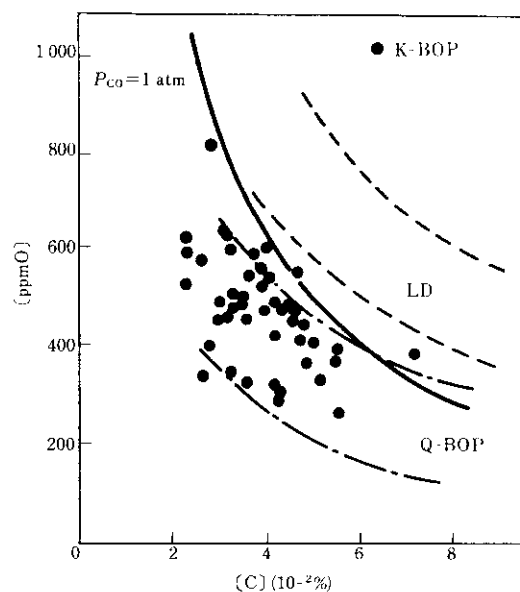


Fig. 2 Relation between [C] and [O] at blow end

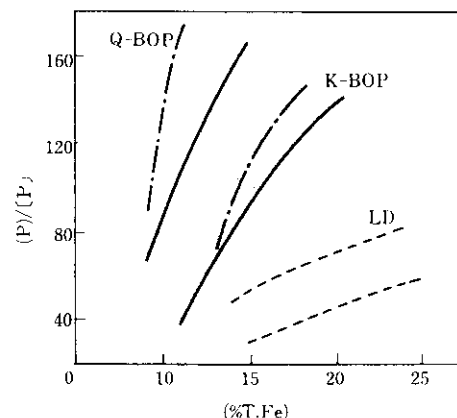


Fig. 3 Relation between (%T.Fe) and phosphorus partition ratio

果により、脱磷能は大幅に向上している。

K-BOP では、Q-BOP に比べ、同一 (T.Fe) のもとでは若干 P 分配比が低いですが、スラグの (T.Fe) 制御により、脱磷を促進できる。スロッピングは、フラックスインジェクションパターンの適正化により、皆無となった。

次に、底吹き比を変化させた場合 (T.Fe) の挙動を Fig. 4 に示す。底吹き比の増大に伴い、ISCO 値⁷⁾が低下するので、(T.Fe) は低下する。このほか、吹錬末期に底吹き比を 100% 近くにするにより、(T.Fe) の制御が可能で、これらの操業因子を組合せ、吹止め (T.Fe) を精度良くコントロールできる。

4. 吹錬技術

4.1 高温材迅速出鋼法の開発

転炉操業では、吹止め成分と温度を精度良く適中させ、吹止めから出鋼までの時間を短縮し、名種原単位と能率、さらには品質の向上を図ることが重要である。そのため、サブランスを用いたダイナミック終点制御技術⁸⁾や、滓化検知を取り入れた自動吹錬法⁹⁾を開発し、1640℃程度の出鋼温度では、吹止成分、温度を確認しないで出鋼する迅速出鋼法 (Quick and Direct

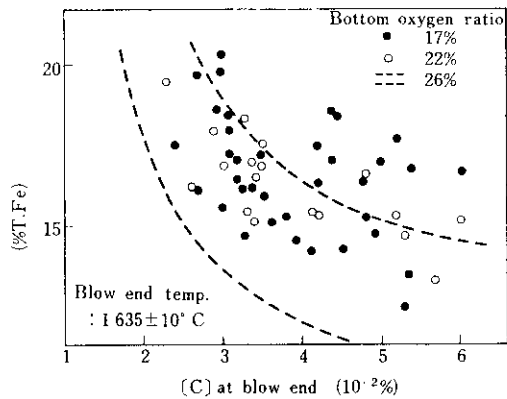


Fig. 4 Effect of bottom blowing ratio of oxygen on (T.Fe) content in K-BOP

Tapping : QDT) を、通常行っている。しかし、脱ガス処理を必要とする低P鋼の場合は出鋼温度が高いことが脱磷に不利で、吹止後の成分確認が必要なため、QDTを適用できなかった。ところがK-BOPでは、脱磷反応に最も大きな影響を及ぼすスラグ中 (T.Fe) の制御が容易なため、高温材でもQDT¹⁾が可能と考えられた。

Balajiva の式¹⁰⁾に基づいて、重回帰によりみかけの脱磷平衡式を求めると、K-BOP, LD についてそれぞれ(1), (2)式が得られる。

$$\begin{aligned} \text{K-BOP : } \log \frac{(\% \text{P}_2\text{O}_5)}{(\% \text{P})^2 (\% \text{T.Fe})^5} \\ = 0.070 (\% \text{CaO}) + \frac{36941}{T} - 24.29 \quad \dots\dots(1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LD : } \log \frac{(\% \text{P}_2\text{O}_5)}{(\% \text{P})^2 (\% \text{T.Fe})^5} \\ = 0.076 (\% \text{CaO}) + \frac{32507}{T} - 22.49 \quad \dots\dots(2) \end{aligned}$$

(1)式で求めたPの平衡定数 $K_{P-\text{cal}}$ と、実績 $K_{P-\text{obs}}$ の関係を、Fig. 5に示す。相関は強く、(T.Fe), (CaO), 溶鋼温度を制御すれば、吹止[P]の推定が可能である。また、Fig. 6に示すように、P分配比はスラグ塩基度 $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ にも大きく影響される。したがって、吹止[P]の推定モデルとして(3)式に示す

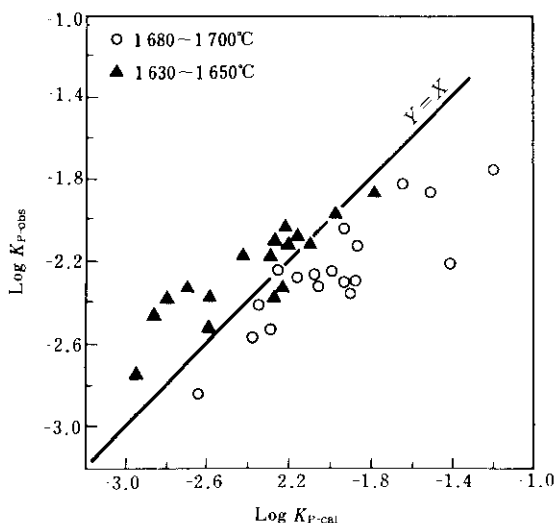


Fig. 5 Relation between estimated K_P and observed K_P for K-BOP

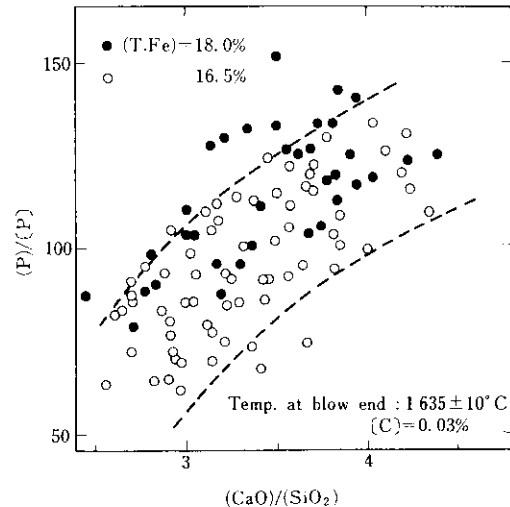


Fig. 6 Effect of (T.Fe) on phosphorus partition as a function of slag basicity

要因を考慮した重回帰式を作成した。

$$P_f = f_1 (T_f, C_f, B_{\text{cal}}, \text{CaO}, \text{CaF}_2, \text{T.Fe}, C_0) \quad \dots\dots(3)$$

P_f : 吹止 [P] CaO: 石灰原単位

T_f : 吹止温度 CaF₂: 螢石原単位

C_f : 吹止 [C] T.Fe: 目標 (T.Fe)

B_{cal} : 計算塩基度 C_0 : 定数

重相関係数は0.81で、回帰の回りのばらつきは0.0023%と小さく、吹止[P]の推定式として優れている。(T.Fe)の影響は極めて大きいので、吹止め時点での(T.Fe)の制御精度がよければ、[P]の適中率は向上する。

(T.Fe)は前述のように底吹き比によって制御できるが、さらに吹錬末期のある一定期間底吹きのみを行えば(4)式により容易に、精度よく制御できる。

$$(\% \text{T.Fe}) = a \Delta t_{\text{O}_2} + b W_{\text{ore}} + c \Delta t_{\text{ore}} + d \cdot \frac{1}{C_f} + e \tau + f \quad \dots\dots(4)$$

a, b, c, d, e, f : 定数

Δt_{O_2} : 吹錬末期底吹き酸素単独吹錬時間 (min)

W_{ore} : 鉬石添加量 (t)

Δt_{ore} : 鉬石添加から吹錬終了までの時間 (min)

C_f : 吹止 [C] ($10^{-2}\%$)

すなわち、(3)式により吹錬方案を決定し、吹錬末期に、(4)式により(T.Fe)を制御する。さらに信頼性の向上を図るため、以下の方法を採用した。

その一つは、上吹き転炉で開発した滓化検知システム⁹⁾であり、他の一つは、新たに開発した、吹止時点の[O]測定値から[P]を推定するシステムである。

K-BOPでは、Fig. 7に示すように、(T.Fe)は、[O]に強く依存し、その関係は(5)式で表わせる。

$$(\% \text{T.Fe}) = 7.40 + 0.0183 [\text{O}]_0, (\sigma = 1.14) \quad \dots\dots(5)$$

[O]₀: 酸素センサーにより測定した自由酸素 (ppm)

以上述べてきた関係式によれば、Fig. 8に示すように、[P]の計算値と実績値の差の標準偏差はわずか $1.8 \times 10^{-3}\%$ であり、操業指針として使用できる。

この結果を利用したQDTシステムのフローを、Fig. 9に示した。吹上温度が1660~1670°CのAPI-X 70鋼をこのシステムで溶製した時の、出鋼[P]の分布をFig. 10に示した。K-BOPでの標準偏差は $1.62 \times 10^{-3}\%$ と、上吹き転炉より小さく、適中精

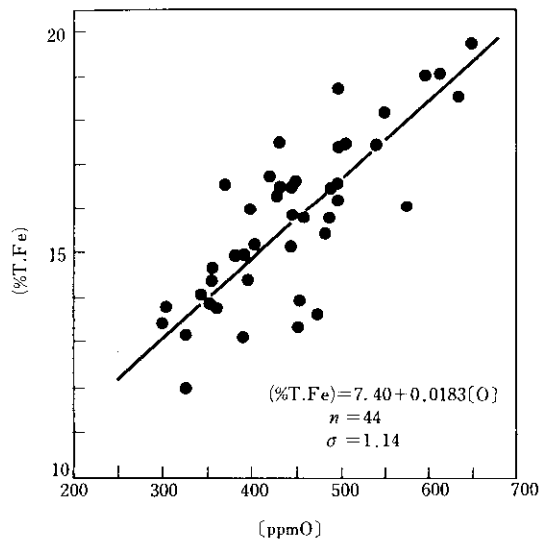


Fig. 7 Relation between [O] by oxygen probe and (%T.Fe) in K-BOP

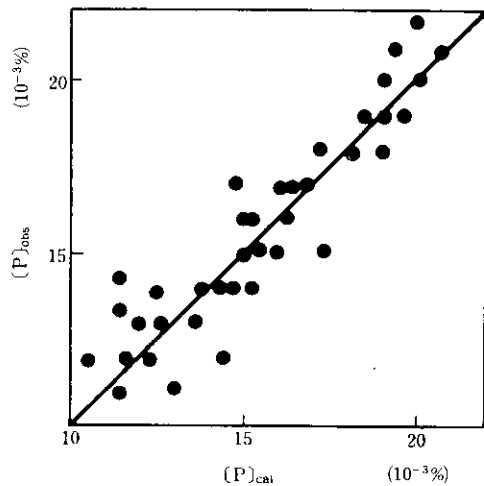


Fig. 8 Relation between calculated and observed [P] at blow end in K-BOP

度が良い。Table 3 に、同鋼種の吹錬成績をまとめた。QDT の効果と吹止め [P] のばらつきが小さいことにより平均出鋼温度を低下でき、ドロマイトを含む石灰原単位の削減に寄与している。

このように K-BOP 吹錬技術の向上により、吹止から出鋼までの時間が Fig. 11 のように大幅に短縮した。また、Table 4 と Fig. 12 に低 P、低炭素アルミキルド鋼の操業成績を示した。同一石灰原単位では、K-BOP の方が (T.Fe) を 7% 低減できる。

4・2 低 Si 鉄の吹錬技術

K-BOP において、低 Si 溶鉄を用い、少量の石灰原単位で塩

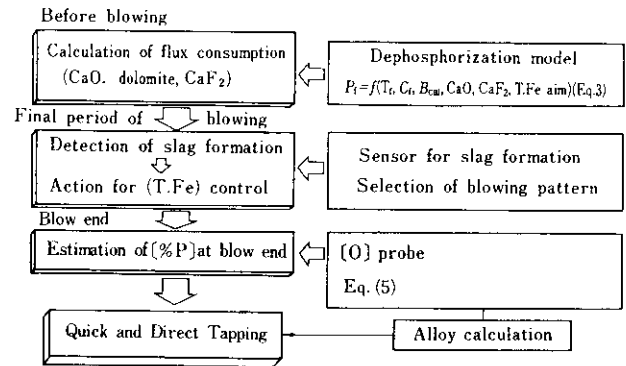


Fig. 9 QDT system of K-BOP

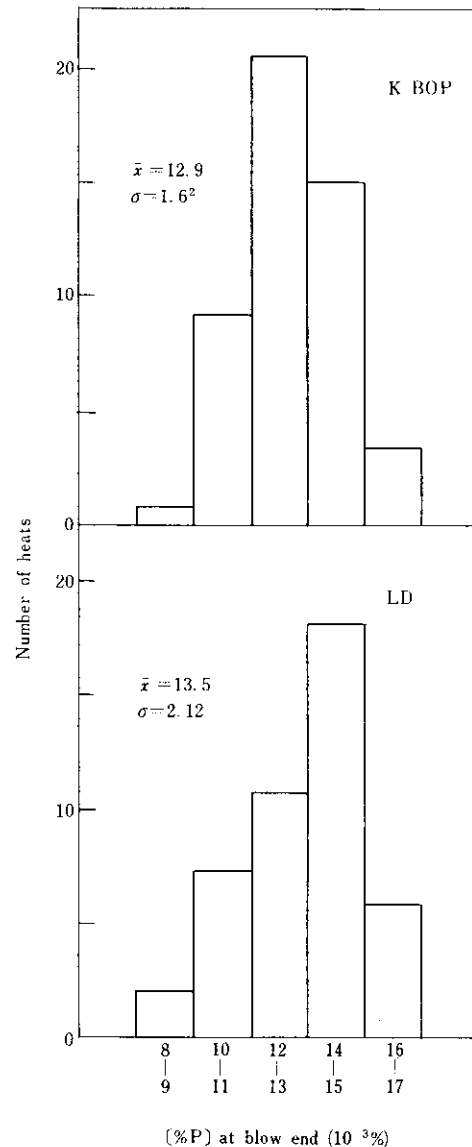


Fig. 10 Comparison of [P] distribution at blow end between K-BOP and LD for API-X70 steel

Table 3 QDT performance for high grade steel (API-X70)

Process	No. of heats	Chemical composition at blow end (10 ⁻³ %)			(%T.Fe) in slag at blow end	Temperature at blow end (°C)	CaO and dolomite consumption (kg/t)	[%Si] of hot metal
		C	Mn	P				
K-BOP	83	3.7	18	13.3	18.2	1662	37	0.23
LD	107	4.7	11	11.8	25.2	1667	46	0.32

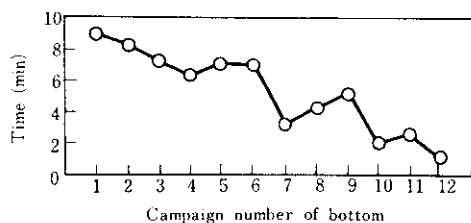


Fig. 11 Change of time required from blow end to tapping for K-BOP

Table 4 Blowing performance of low C Al-killed steel

Process	No. of heats	Temperature at blow end (°C)	{%P} at blow end	{%TFe}	CaO consumption(kg/t)	{%Si} of hot metal
K-BOP	400	1635.8	0.012	17.5	38	0.32
LD	130	1642.0	0.012	24.6	41	0.33

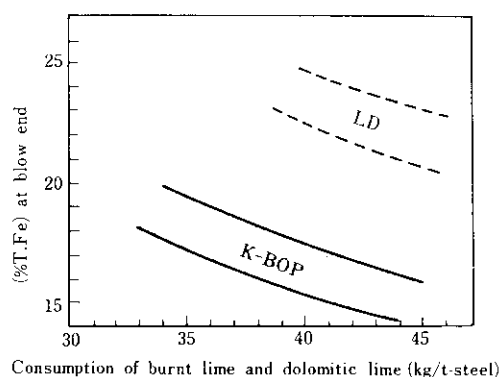


Fig. 12 Relation between lime consumption and (%T.Fe) under the blowing conditions shown in Table 4

基度を確保し吹錬すれば、その経済効果は大きい。Fig. 13 は、溶銑 Si 含有量と石灰、ドロマイト原単位、および銑歩留の関係を示す。K-BOP は、上吹き転炉より低 Si 銑吹錬が容易である。溶銑 [Si] を 0.40% から 0.30% にすれば、5~10 kg/t の石灰が削減でき、銑歩留がおよそ 0.5% 向上する。これは、K-BOP では、フラックスインジェクションの効果により、高塩基度操業においても滓化が良好なためである。低シリコン銑吹錬時の、スラグ塩基度上昇による初期の滓化不良、スラグ量減少などにもなうフュームの増加、上吹きランス付着地金の増加などを解消するため以下の項目に関して改善を行った: ①上吹きランス形状、②上吹きランスノズル形状、③底吹羽口配列、④送酸速度、⑤底吹き比、⑥ランス高さ、⑦インジェクションパターン。

4.3 転炉排ガス回収

K-BOP は、上吹き転炉より、フード内圧力(炉内圧力)の変動が小さい。この理由は、炉底からのフラックスインジェクションの効果と、底吹き転炉特有の高い脱炭効率と、その安定性の良さにある。この特長およびスロッピングがないことにより、OG スカート下端部と転炉炉口のすき間を小さくできる。この結果、K-BOP は、転炉排ガスの回収に有利である。

微粉石灰をボトムインジェクションした場合と、比較のため塊状石灰を炉上から添加した場合の、排ガス中の CO 濃度の経時変化を、Fig. 14 に示す。インジェクション法では、炉内圧が安定し、CO 濃度の変動が小さい。

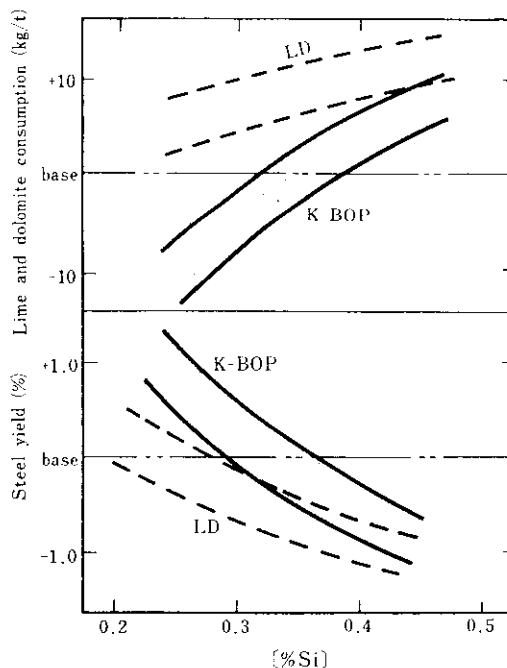


Fig. 13 Effect of [%Si] of hot metal on lime consumption and steel yield

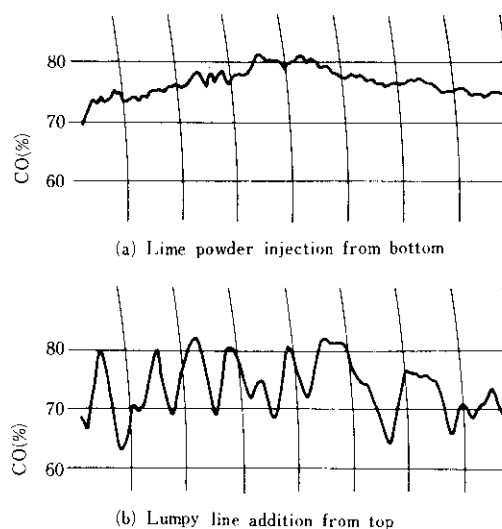


Fig. 14 Effect of powder injection on CO content of off-gas recovered

このような理由から Table 5 に示すように、上吹き転炉に比べ、排ガスの CO 濃度は 6.3% 高く、回収量も 4.5 Nm³/t-pig 多い。

5. 品質

Fig. 2.4 に示したように、鋼浴ならびにスラグの過酸化が抑制されるので、特に低炭素鋼でも、[O] が低い。

Fig. 15 に極低炭素鋼の (%T.Fe) の挙動を示す。出鋼温度が高く、[P] の規格が厳しいため、(T.Fe) 濃度は高いが、LD に比べれば K-BOP は約 8% 低い。この影響は、RH 脱ガス終了後の取鍋内スラグにまでおよび、(T.Fe) は 5% 低く、[O] の低減、及び連々銑継ぎ目部に生ずる取鍋スラグの悪影響の低減に有利である。また、吹止 [C] を容易に下げられるので、RH 脱

Table 5 Off gas recovery of K-BOP and LD

Process	Volume of recovered gas (Nm ³ /t-pig)	CO content (%)
K-BOP	90.1	76.7
LD	85.6	70.4

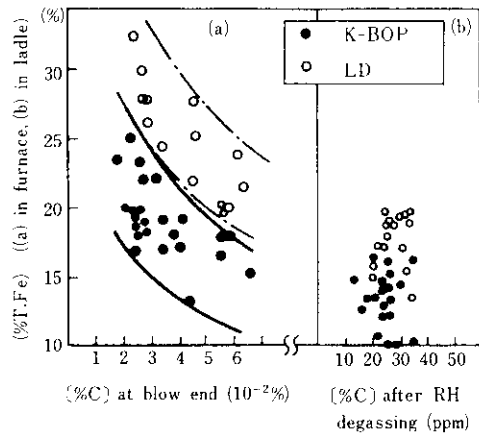


Fig. 15 Comparison of (T.Fe) between K-BOP and LD

ガス後の[C]も低く、[C] ≤ 20 ppmの極低炭素鋼の製造も容易である。

K-BOPでは、高温出鋼材において、羽口保護のためにプロパンガス比率を高めるので吹止[H]が高く、かつ、ばらつきも大きいことが、問題であった。しかし、前述のように、高温材の迅速出鋼法を確立し、再吹錬比率の低減と吹止[C]の制御、出鋼温度低下によるプロパン比率の減少が可能となり、解決した。Fig. 16にその結果を示す。

QDT法での脱ガス処理前後の[H]は低く、かつ、ばらつきも小さい。

脱ガスを適用しない低温出鋼材は、プロパン比率が低いうえ、必要に応じて不活性ガスを短時間底吹きして脱水素をはかれるので、問題はない。

6. 耐火物

K-BOPの羽口および羽口耐火物は、すでに技術的に確立されていた千葉製鉄所底吹き転炉の耐火物技術の活用を図った。

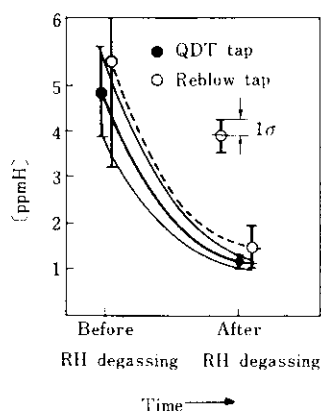


Fig. 16 Effect of tapping method on [H]

しかし、K-BOPは上底吹き法でそのうえ出鋼温度が高いため、底吹き転炉とは異った、新たな問題が発生した。また、炉体バレル部の耐火物の溶損パターンも、上吹き転炉に比べ大きく異なり、これらの問題点を解決するため次の開発を行った。

- (1) 高温吹錬に適した羽口附近の耐火物の開発。冷却用プロパン使用技術の確立
- (2) 上底吹き転炉用としての羽口配列とボトム全体の築炉仕様の確立
- (3) 上吹き転炉のバレル部築炉仕様の確立
- (4) 操業技術の向上による耐火物への負荷軽減(吹止めから出鋼までの時間短縮、出鋼温度の低下、フラックス吹込パターンの改良)

Fig. 17に、吹錬中の羽口耐火物温度変化の測定例を示す。フラックス吹込の有無により、温度の推移が異なる。最適インジェクションパターンの確立により、ボトムの溶損速度を約20%低減できた。

Fig. 18に、ボトム溶損速度の推移を示す。上記の諸改善により、操業当初に比べ、溶損速度を50%以下に低減できた。特に、Fig. 18におけるNo. 7ボトム以降の成績は、Fig. 11に示した吹止めから出鋼までの時間の短縮と対応しており、操業技術の寄与が大きい。

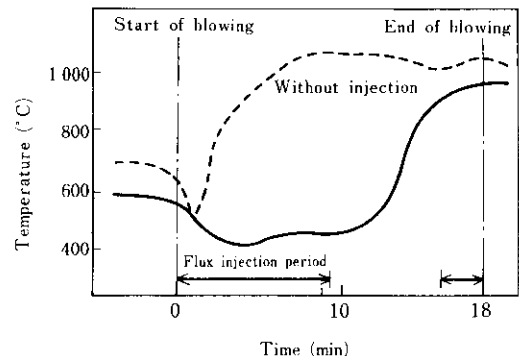


Fig. 17 Effect of lime powder injection from bottom on a temperature change of tuyere brick

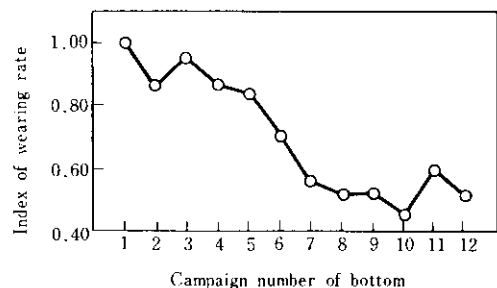


Fig. 18 Change in wearing rate of bottom brick

7. 結 言

本報では、K-BOPの特性を利用した操業技術の開発結果を報告した。

K-BOPは、攪拌強化、フラックスインジェクション効果に加

えスラグ制御が容易であり、滓化検知と合わせ、安定した操業技術が確立できた。特に高温材 QDT 法の確立、低シリコン銑吹錬技術を中心とした開発により、上吹き転炉に比べ、石灰原単

位を大幅に削減することができた。さらに、耐火物技術の向上も加わり、K-BOP は高速鑄比率、すなわち、生産性と経済性を有する大量生産工場に適した製鋼法として、確立できた。

参 考 文 献

- 1) 太田豊彦, 三枝誠ら:「高生産性を目的とした底吹き転炉の吹錬, 操業技術の開発」, 川崎製鉄技報, 12 (1980) 2, 1~12
- 2) 梅田洋一, 青木健郎ら:「転炉複合吹錬法の開発」, 鉄と鋼, 68 (1982) 2, A 25~A 28
- 3) 喜多村実, 伊東修三ら:「上下吹き転炉による新しい吹錬法」, 鉄と鋼, 68 (1982) 2, A 33~A 36
- 4) 村上昌三, 工藤和也ら:「LD-OB 法の冶金, 吹錬特性」, 鉄と鋼, 68 (1982) 2, A 37~A 40
- 5) 大森尚, 山田博右ら:「上底吹き転炉の建設と操業」, 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 878
- 6) 斉藤健志, 中西恭二ら:「底吹きおよび上底吹き転炉の浴内混合と冶金反応特性」, 鉄と鋼, 68 (1982) 2, A 41~A 44
- 7) 永井潤, 山本武美ら:「上底吹き転炉の冶金特性」, 川崎製鉄技報, 14 (1982) 3, 1~9
- 8) 飯田義治, 江本寛治ら:「純酸素上吹き転炉におけるダイナミックコントロール技術の開発」, 川崎製鉄技報, 10 (1978) 4, 35~48
- 9) 飯田義治, 江本寛治ら:「純酸素上吹き転炉における自動吹錬技術の開発」, 鉄と鋼, 65 (1979) 4, S 203
- 10) K.Balajiva and P.Vajragupta: "The effect of temperature on phosphorus reaction in the basic steelmaking process," J.I.S.I., (1946) 1, 563~567