

討14 上底吹き転炉における強撈拌を利用した精錬機能の拡大

川崎製鉄㈱千葉製鉄所 〇石塚晴彦 田岡啓造 山田純夫
 馬田 一 越川隆雄
 鉄鋼研究所 藤井徹也

1. 緒 言

ステンレス鋼，高炭素鋼，ケイ素鋼などの多様な鋼種を溶製している千葉製鉄所、第1製鋼工場では、転炉機能の拡大によるプロセス改善が、コスト低減の主要技術となっている。本報告では、上底吹き転炉（K-BOP）の機能拡大について、その概略を述べる。

2. 上底吹き転炉に要求される要素技術

ステンレス鋼の生産を千葉製鉄所に集約化するに際して、既設の上吹き転炉をK-BOPに改造した。その趣旨は、鋼浴撈拌力の増大による冶金反応効果の向上，希釈脱炭の実現にある。Fig. 1に、第1製鋼工場の主要鋼種を示す。ステンレス鋼精錬と普通鋼精錬では、精錬目的の違いから工程は大きく異なる。特にステンレス鋼精錬では、スクラップの溶解・希釈脱炭・還元などの従来の転炉操業にはない機能が求められる。Fig. 2に、K-BOPへの改造に至る考え方を示す。当所、K-BOPの特長は銑鋼一貫製鉄所の持つ特質を活かし、プロセスを簡略化してK-BOPのみを用いて多様な鋼種を溶製することにある。Fig. 1 Details of production at No 1 steelmaking shop.

Stainless steel	-----	66%
Austenite	-----	47%
Ferritic	-----	39%
Martensite	-----	14%
High carbon steel	-----	14%
High silicon steel	-----	} 20%
Others	-----	

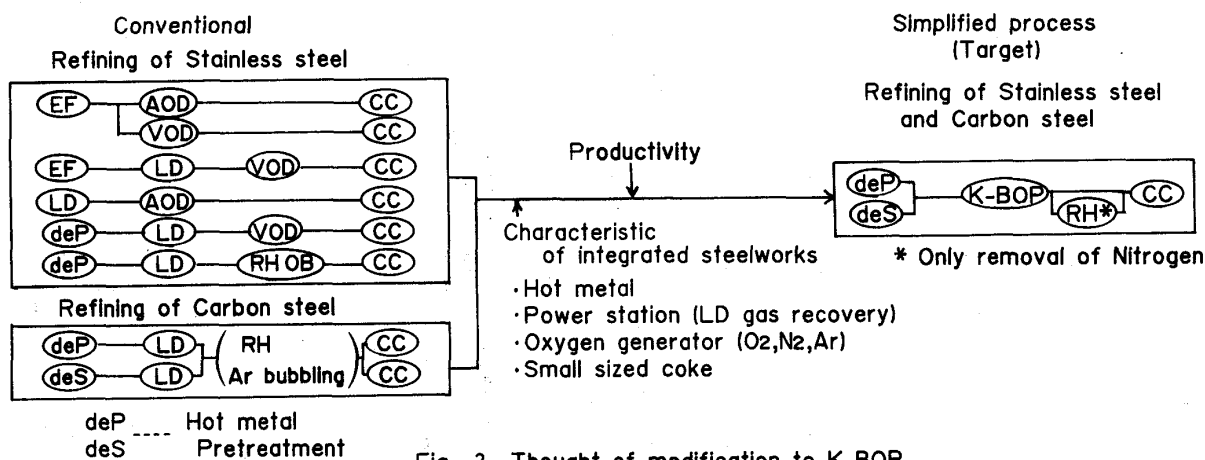


Fig. 2 Thought of modification to K-BOP

ステンレス鋼の生産性の向上および精錬コストの低減に対する基本方針を、①多連連鑄化 ②脱電力 ③安価原料の使用に設定し、開発に努めてきた。Fig. 3に、これらの基本条件を実現するための要素技術の構成を示す。当所のステンレス鋼精錬は、これらの技術の実現により、環境変化，鋼種に応じた最適溶製プロセスの選択が可能になった。

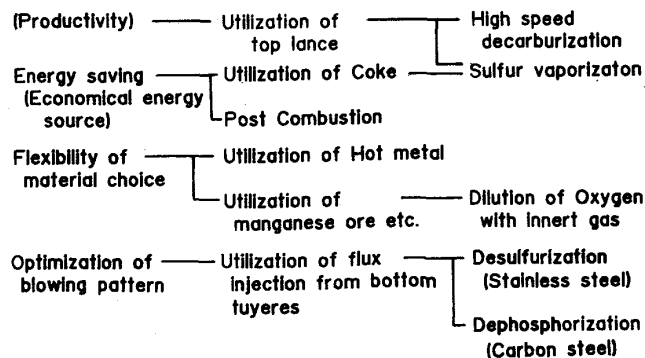


Fig. 3 Principle of cost reduction

3. 上底吹き転炉と冶金効果

ステンレス鋼精錬を中心として、一部普通鋼精錬も交え、K-BOPの冶金効果について述べる。

3-1 高速吹錬

当所におけるステンレス鋼精錬は、オーステナイト系はスクラップ（電気炉）法、フェライト系は脱リン銑法で行っている。さて、フェライト系のみならず、オーステナイト系についても、脱電気炉が望まれており、工場の生産能率は、ステンレス鋼の精錬時間、特に脱炭時間に依存することになる。Fig. 4に、脱炭時間と初期C濃度の関係¹⁾を示すが、上吹きランスの併用の効果は大きく、脱リン銑法のような初期C濃度が4%を越える場合、連鑄との同期化のためには上吹きランスが必須である。Fig. 5には、上吹き送酸速度の違いによる[%C]と[%Cr]の関係¹⁾を示した。[%C] ≥ 0.4では、上吹き送酸時期を適正化することにより、上吹きランスを併用しても、Crの酸化損失は増大しない。

3-2 希釈脱炭

ステンレス鋼精錬では、脱炭期におけるCrの酸化損失を少なくすることは重要な技術である。脱炭精錬炉の特性値であるISCO値²⁾を用いれば、Cr酸化損失を定量的に評価できることは、Fig. 6³⁾に示す通りである。当所、K-BOPは、ISCO値15を狙った希釈脱炭が可能であるように設計されており、狙い通りの結果を得ている。

3-3 還元

還元精錬工程も、ステンレス鋼精錬では重要な工程であり、①酸化Crの還元回収 ②脱硫を目的とする。還元精錬時間を律するCrの還元反応は、下式で表わされる。

$$-d(\%Cr_2O_3)/dt = (k_s A \rho_s / W_s) / \{ (\%Cr_2O_3) - (\%Cr_2O_3)_e \}$$

(%Cr₂O₃) : スラグ中Cr₂O₃濃度, (%Cr₂O₃)_e : スラグ中平衡Cr₂O₃濃度, k_s : 物質移動係数, A : スラグ-メタル界面積, ρ_s : スラグ密度, W_s : スラグ重量

Fig. 7には、k_sAと攪拌エネルギー密度 $\dot{\epsilon}$ との関係⁴⁾を示す。k_sAは $\dot{\epsilon}$ の0.9乗に比例して増大しており、強攪拌の効果がみられる。これは底吹きガスによる強攪拌がスラグのエマルジョン化を促進し、スラグ-メタル界面を増大しているからである。

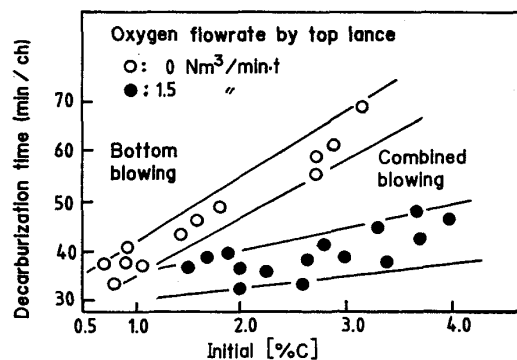


Fig. 4 Influence of oxygen top blowing on time required for decarburization.

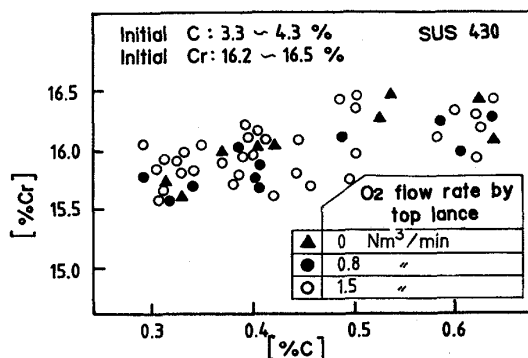


Fig. 5 Influence of oxygen flow rate by top lance on chromium oxidation during decarburizing period.

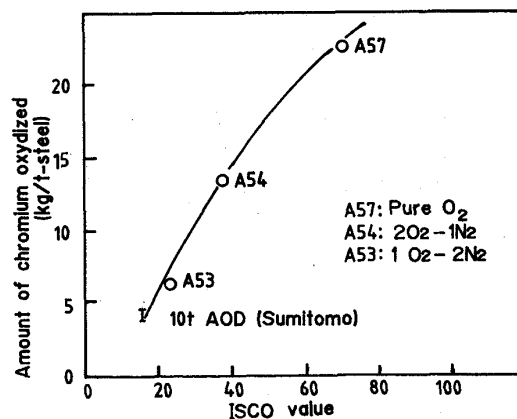


Fig. 6 Amount of chromium oxydized vs. ISCO values

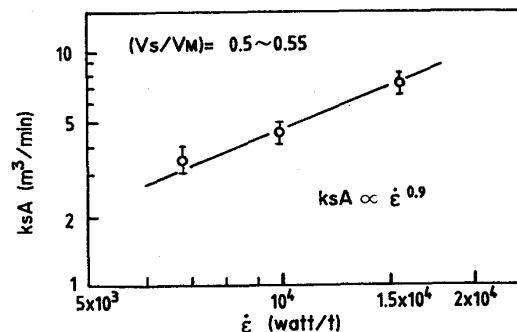


Fig. 7 Relationship between k_sA and rate of energy dissipation.

還元精錬は高炭素鋼の溶製に対しても適用することができ⁵⁾、① 加炭材，FeMn，Al コストの削減 ② 鉄歩留の向上により、大幅な精錬コストの低減を達成した。

3-4 還元期フラックスインジェクション

還元期における脱硫能の向上と安定化を目的として、還元期に底吹き羽口から微粉石灰のインジェクションを行った。結果を Fig. 8 に示す。Fig. 8 には、比較のために塊状の生石灰を炉上より添加したものも合わせて示した。還元期の微粉石灰のインジェクションにより、還元後の〔%S〕は低く、かつバラツキが減少する。これは、生石灰粉の浮上過程での脱硫および CaO の滓化促進によるものと考えられる。

3-5 熱補償技術

a) 2次燃焼による熱補償技術

汚染の少ない熱源として注目されている2次燃焼は、ランスチップ形状およびランス高さに依存し、ソフトブローほど増大することは周知の通りである。しかし、鋼浴攪拌の弱い転炉ではスロッピング等により、操作性が悪化することから上吹き条件の自由度が小さく、2次燃焼率の制御範囲も狭い。当所、K-BOPは、底吹きガス流量が $0.6 \sim 1.0 \text{ Nm}^3/\text{t} \cdot \text{min}$ と大きいことから、操作性を阻害することなく上吹き条件の変更が可能である。Fig. 9 には、ラバールノズルの一部をストレートノズルに変更したランスチップと全孔ラバールノズルである従来ランスにおける2次燃焼率とランス高さの関係¹⁾を示した。ランス高さを上げることにより、2次燃焼率は増加している。改善型2次燃焼ランスにより、従来ランスに対して約5%の2次燃焼率向上が得られた。

b) コークス上添加による熱補償技術

コークスを熱源とする熱補償技術は、余剰小塊コークスの利用および発生するLDガスの回収を考えると一貫製鉄所において特に有効な技術である。しかし、コークスを多量に使用する場合、加硫が問題となる。Fig. 10 に、底吹き転炉（Q-BOP）と、K-BOPにおけるSバランスの一例¹⁾を示す。Q-BOPに比べてK-BOPでは、不明Sの比率が大きい。また、同一のK-BOPでも上吹き条件をソフトブローにすると不明Sは増大する。これは、スラグ中Sが上吹きランスからの酸素により気化して、気相に移行するためと考えられる。上吹き送酸条件を制御することで、コークスからの加硫を抑制することが可能である。

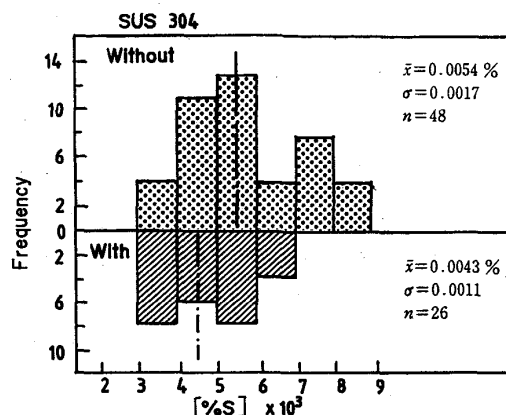


Fig. 8 Frequency of sulfur content after reduction period with and without CaO powder injection (10 kg/t)

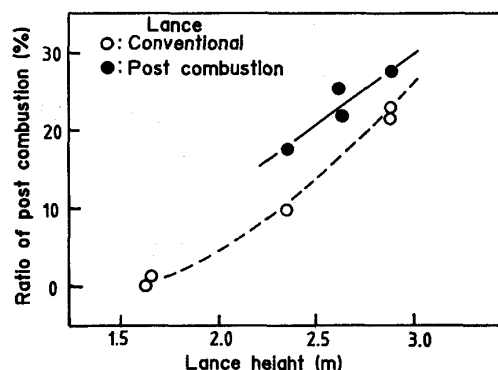


Fig. 9 Relation between lance height and ratio of post combustion.

Q-BOP		Unidentified	
Molten steel (82.4)	Slag (11.2)	(6.4)	

K-BOP (Conventional blow)		
Molten steel (64.6)	Slag (10.7)	Unidentified (24.7)

K-BOP (Soft blow)		
Molten steel (33.4)	Slag (24.0)	Unidentified (42.6)

Fig. 10 Comparison of sulfur balance between Q-BOP and K-BOP

c) コールインジェクション

従来、含Cr, Ni スクラップは電気炉を用いて溶解を行っていたが、電力が高価なことから、安価な熱源による溶解法が望まれている。当所上底吹き転炉では、将来的に安価な熱源として期待される石炭のインジェクションが可能な設備に改造し、転炉でのスクラップ溶解を実験した。(このプロセスをKMS-Sプロセスと称す) Fig. 11 に、配管フロー図を示す。底吹きは、酸素専用羽口および酸素と微粉炭の兼用羽口の2種類の羽口で行う。

コールインジェクションによる溶銑率58%の場合のステンレススクラップ多量溶解時の熱バランスの一例を Fig. 12 に示す。粗溶湯([%C]=4.5)製造までの熱バランスであるが、安価な炭材である石炭粉によりステンレススクラップの多量溶解が可能であることが明らかとなった。

3-6 鉬石の還元技術

当所、K-BOPでは、前項で述べた熱補償技術を用いることにより、Mn 鉬石等の鉬石類を転炉内で炭素還元することができる。ステンレス鋼精錬時にMn 鉬石を多量に使用するとCrの酸化損失量が増加する弊害があった。しかしながら、Fig. 13 に示すように、Mn 鉬石の投入時期を制御することで、Crの酸化損失をFeMn 投入法と同等とすることができた¹⁾。

最近、Cr 鉬石の転炉内溶融還元技術の開発・研究が活発に行われているが、当所のK-BOPはこのための反応炉としての機能を十分に具備しているものと判断され、今後、積極的に研究開発を行う方針である。

4. 結 言

川崎製鉄千葉製鉄所、第1製鋼工場では、上底吹き転炉の持つ機能を最大限活用することで、普通鋼からステンレス鋼に至る多様な鋼種の精錬を環境条件に応じた最適プロセスで実施している。

<参考文献>

- 1) 田岡ら：川鉄技報 17(1985) 202
- 2) 中西ら：川鉄技報 15(1983) 100
- 3) K. Nakanishi et al : Kawasaki Steel Technical Report. (Sept. 1980) 1.1
- 4) 民田ら：鉄と鋼 69(1983) S1007
- 5) 野村ら：川鉄技報 18(1986) 14

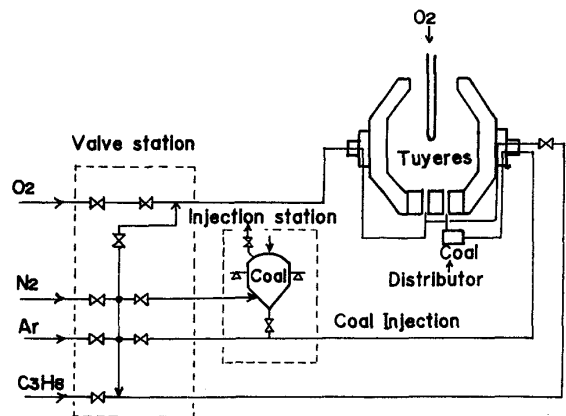


Fig. 11 Flow sheet of process gas in KMS-S process.

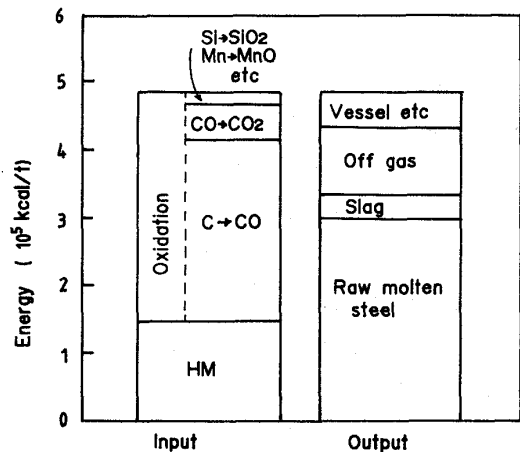
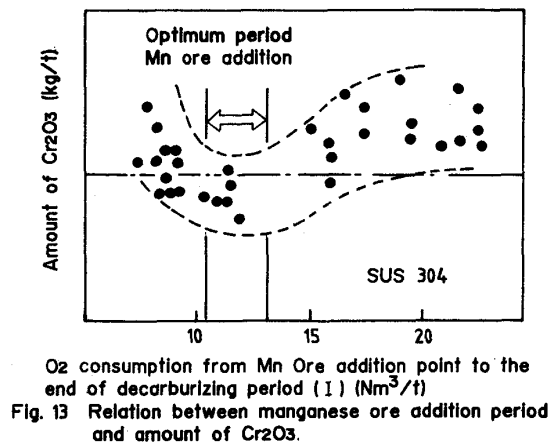


Fig. 12 Heat balance of scrap melting.



O₂ consumption from Mn Ore addition point to the end of decarburizing period (l) (Nm³/t)
Fig. 13 Relation between manganese ore addition period and amount of Cr₂O₃.