

はいたが、設備が簡便であったため実験開始は K-BOP よりも半年早くすることができた。その結果として社内の複合吹錬の先陣を切ることができ、当時の LD 転炉担当者の意気が大いに上がることとなり、その後の LD-KG の改良につながった。

3. 底吹きガス流量の拡大

180 t LD-KG の操業結果を解析すると、底吹きガス流量の最大値が $0.05 \text{ Nm}^3/\text{min}\cdot\text{t}$ であったため高炭素鋼の精錬には底吹きガスの効果が認められたが、低中炭素鋼域の精錬の改善には底吹きガス流量が不足していた。底吹きガス流量の増量策として単孔ノズルの設置本数を増し、さらにガス供給圧力を従来の 10^6 Pa から $4 \times 10^6 \text{ Pa}$ 以上に増強しガス流量の増加を図った。その結果、底吹きガス流量を 0.01 から $0.20 \text{ Nm}^3/\text{min}\cdot\text{t}$ の広い範囲に制御可能な上底吹き転炉 (LD-KGC; LD-Kawatetsu Gas Control) を開発することができた。この LD-KGC の導入により、低額の投資で高炭素鋼から低炭素鋼までの広範囲の鋼種を、最も適した攪拌力で精錬することが可能となった。

4. 上底吹き転炉製鋼法の現状

上底吹き転炉製鋼法の発展と同時に、

- (1) 溶銑予備処理比率の拡大による脱りん銑を用いた高級鋼およびステンレス鋼の精錬の改善。
- (2) Mn 鉱石, Cr 鉱石の大量使用技術, さらにはスクラップ大量使用技術の開発。
- (3) 極低炭素鋼生産量の増加による溶製鋼種の変化。など操業条件が大きく変化している。この間, K-BOP による Cr 鉱石溶融還元法に代表される, さまざまな技術開発が行われ¹⁰⁾ Q-BOP, K-BOP, LD-KGC 各転炉共その特長を生かしながら現在の精錬プロセスの主流となって操業を継続している。

文 献

- 1) 太田豊彦, 三枝 誠, 永井 潤, 数土文夫, 中西恭二, 野崎 努, 内村良治: 川崎製鉄技報, **12** (1980), p. 209
- 2) 中西恭二, 三本木貢治: 鉄と鋼, **65** (1979), p. 138
- 3) 中西恭二, 斎藤健志, 野崎 努, 加藤嘉英, 鈴木健一郎, 江見俊彦: 川崎製鉄技報, **15** (1983), p. 100
- 4) 中西恭二, 加藤嘉英, 鈴木健一郎, 香月淳一: 鉄と鋼, **64** (1978), S169
- 5) 永井 潤, 山本武美, 山田博右, 武 英雄, 橘 林三, 大森 尚, 中西恭二, 飯田義治: 川崎製鉄技報, **14** (1982), p. 240
- 6) 永井 潤, 山本武美, 武 英雄, 大石 泉, 大森 尚, 飯田義治: 川崎製鉄技報, **15** (1983), p. 106
- 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), p. 113
- 8) 森本正興, 垣内博之, 安齊繁男, 宮崎重紀, 岩岡昭二, 小口征男, 矢野修也, 牛込 進, 渡辺芳昭, 宮川信夫: 鉄と鋼, **66** (1980), S831
- 9) 三枝 誠, 今井卓雄, 千野達吉, 塚本雅彰, 朝穂隆一, 木中良次: 鉄と鋼, **66** (1980), S236

- 10) 岸本康夫, 加藤嘉英, 桜谷敏和, 藤井徹也, 山田純夫, 大宮 茂: 川崎製鉄技報, **21** (1989), p. 168

IV. (株)神戸製鋼所の場合

加古川製鉄所 斎藤 忠
加古川製鉄所(現:生産技術部) 藤本 英明
鉄鋼技術研究所 伊東 修三

1. はじめに

純酸素上吹き転炉法(LD転炉法)は、高い信頼性に裏付けされた優れた生産性と精錬機能を発揮し、世界的に飛躍的な発展を遂げてきた。

しかし、二重管羽口を用いた純酸素底吹き転炉法(Q-BOP法)¹⁾の出現を契機として、上吹き転炉炉内のスラグ-メタル間の攪拌不足に起因するスラグの過酸化や溶鋼成分、温度の不均一が見直され、1970年代後半から従来の上吹き転炉に底吹き転炉の優れた溶鋼攪拌特性を付加した上下吹き転炉法の開発と実用化が活発に進められてきた^{2)~5)}。

2. 上下吹き転炉技術の開発経緯

神戸製鋼所においても、早くから底吹き転炉の優れた精錬特性に着目していたが、すでに需要と設備能力のバランスがとれている日本の鉄鋼業において、新たな底吹き転炉工場をつくることはできない状況にあった。

そこで神戸製鋼所も鉄鋼他社と同様に、既設の上吹き転炉を上下吹き転炉に改造する技術開発競争に着手した。ここで、上下吹き転炉法には大別して次の三つの形式が考えられた。

- ①不活性ガスの底吹き
- ②酸素と冷却用の炭化水素ガスの底吹き
- ③酸素、炭化水素ガスと粉末石灰などの副原料の底吹き

加古川製鉄所では、低炭素鋼主体の板用材の溶製比率が高く、底吹きの付加による転炉鋼浴内精錬特性の改善が期待されたため、①の不活性ガス底吹き技術は加古川製鉄所で開発する⁶⁾ことになったが、並行して②の酸素ガス底吹き技術は尼崎製鉄所の休止中の30 t転炉を利用して実験⁷⁾を始めることにした。

また神戸製鉄所では、中高炭素鋼主体の条用特殊鋼を溶製しており、転炉での脱りん負荷の低減が優先課題であったため、中央研究所(現:鉄鋼技術研究所)と共同で溶銑予備処理技術の開発を脇浜の実験炉で行うことにした⁸⁾。

上下吹き転炉の実炉テストにあたって、加古川製鉄所では(1)一つの製鋼工場で高稼働率の生産に対処しなければならないこと、および(2)厚板、薄板、線材と幅広い製品を生産している条件を考慮し、次の目標設定を行った。

- 1) 作業の安全確保
 - 2) 製鋼工場の生産性を低下させない
 - 3) 低炭素鋼から高炭素鋼まで幅広い鋼種を溶製可能
- 水モデルテストや溶銑鍋による底吹きテストの後、第1回実炉テストは1980年2月に行われ、その後1981年6~7月の転炉全基の上下吹き転炉への改造まで、Fig. IV.1に示すように18回の実炉テストを行った。ここで、図中の縦軸はその当時の転炉寿命に対する上下吹き使用比率を、また○印は炉修の関係で計画的に停止した場合を示す。

その間、吹込みノズルや羽口、炉底耐火物の改良や吹込み技術の向上が追求され、開発テストの最終である第18次テストでは、羽口耐火物の交換を行うことなく、ほぼ1炉代連続操業を達成した。

Table IV.1に、神戸製鋼所の上下吹き転炉技術(LD-OTB; LD-Oxygen Top and Bottom Blowing)開発の推移を示す。

神戸製鉄所では、1983年に全量溶銑予備処理体制を

確立して転炉の脱りん負荷を除去した後、上下吹き転炉技術を導入し、優れた精錬効果を発揮している。

3. 上下吹き転炉技術の概要と特徴

不活性ガス吹込みを前提とした加古川製鉄所240t上下吹き転炉では、最小限のガス吹込みによって上下吹き法の効果が最大限に発揮されるように種々の工夫が取り入れられている。以下に、その概要と特徴について述べる⁹⁾。

1) 底吹きガスは専用マイコンで制御され、純Ar, N₂などの任意のガス吹込みおよび異種ガスの混合吹込みが可能で柔軟性に富んだ吹錬ができる。また、1985年からは純Arガスの需要増加に対応するため、底吹き純Arガスの代替として転炉排ガス(LDG)から回収した高純度COガスを利用している¹⁰⁾(Fig. IV.2)。

2) ガス吹込み羽口として、広範囲流量制御性に優れたSA羽口(Single Annular Tuyere)を独自に開発した。その結果、操業中の地金差込みによる羽口閉塞や羽口周

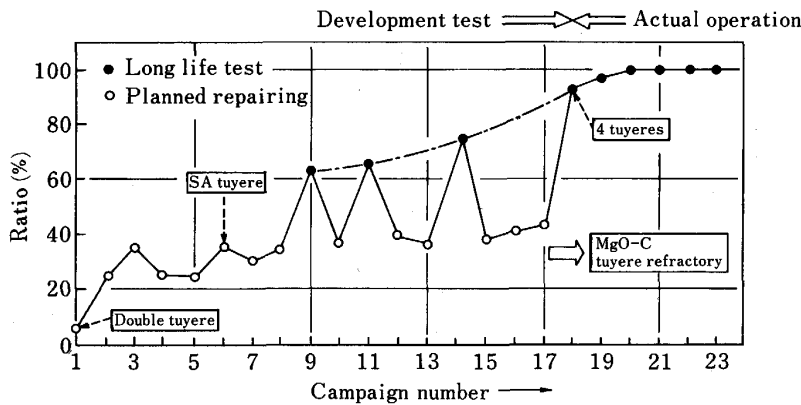
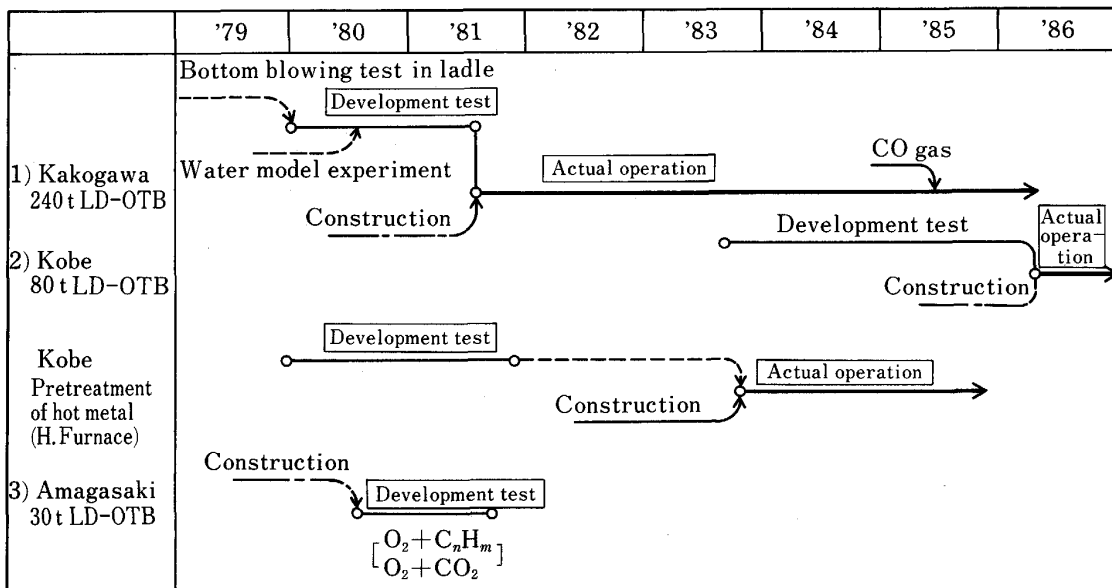


Fig. IV.1. Change of development test heats in Kakogawa 240t LD-OTB.

Table IV.1. Development history of LD-OTB process.



刃耐火物の局部侵食などの問題が解決された。また、羽口位置は優れた精錬効果の得られるトランニオン軸上4孔吹込み方式を採用している。

酸素ガス底吹き用としては、同様に比較的広範囲の流量制御に優れた DA 羽口 (Double Annular Tuyere) を開発し、安定な酸素ガス底吹き技術の目途を得ている (Table IV. 2)。

3) 0.01~0.1 Nm³/min・t の不活性ガス広範囲流量制御技術の確立により、低炭素鋼から高炭素鋼まで溶製鋼種に適したガス吹込みパターン (10~15 種類) の設定が可能である。

4) 羽口耐火物の侵食量は安定して 0.3 mm/ch と低く、羽口ならびに羽口耐火物の交換を行うことなく、2000 chs 以上の一炉代連続操業が可能である。

5) 神戸製鋼所開発による多点同時測定が可能な特殊熱電対 (FMR センサー)¹⁰⁾ の適用により、羽口耐火物の侵食量を正確に監視できるシステムを開発した。

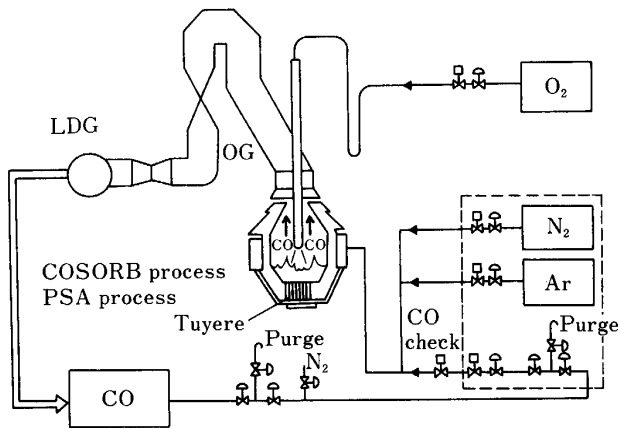


Fig. IV. 2. Process flow of LD-OTB.

Table IV. 2. Comparison of tuyere types.

Type	Tuyere structure	Erosion rate of refractory (mm/ch)	Q_{max}/Q_{min}
Double tuyere		0.7~1.2	≤ 2.0
SA tuyere		≤ 0.3	≈ 10.0
DA tuyere		≤ 2.0	≈ 3.0

4. 上下吹き転炉法の精錬特性

4.1 高炭素鋼の精錬特性

上下吹き法による高炭素鋼の溶製は、スラグ中全鉄 (以上 T. Fe) の減少により脱りん能が低下するため、一般に困難であるとされている。しかし、吹錬中の適正な底吹きガス吹込みパターンの選択により、上吹き転炉と同等の吹止め [P] レベルが得られる技術を確認した。Table IV. 3 がその結果で、1650°C 以上の吹止め温度においても、キャッチカーボン法で 0.020% 以下の吹止め [P] を安定して溶製できる。

4.2 上下吹き転炉法の精錬効果

底吹きガス導入による鋼浴内スラグ-メタルの混合攪拌力の向上により、冶金特性上優れた改善効果が得られる。特に低炭素鋼の精錬において顕著であり、Table IV. 4 に示すとおり、Fe および Mn のスラグ中への酸化ロスの減少、脱りん能の向上、鋼中の溶解酸素 [O]_F の低減が可能になった。その結果、出鋼歩留りの向上、副原料・合金脱酸剤・吹錬用酸素および転炉・取鍋耐火物など各種原単位の低減に大きく寄与している。

また神戸製鉄所では、溶銑予備処理銑の適用による転炉での少量スラグ吹錬と上下吹き技術の組合せにより、吹錬制御精度を向上し、再吹錬率を低減するとともに、スラグ中の T. Fe の低減、Mn 鉱石、Cr 鉱石の還元率の向上など大きな効果を得ている。

5. 結 言

加古川製鉄所 240 t 上下吹き転炉技術の開発過程においては、広範囲流量制御性に優れ、安定ガス吹込みの可能な SA 羽口の開発、ガス吹込み羽口位置の適正化、溶製鋼種に応じた適正な上下吹きパターンの選定、羽口

Table IV. 3. Production results of high carbon steel.

Standard [C] content	Refining process	Turn down			
		[C] (%)	[P] (%)	Temp. (°C)	(T. Fe) (%)
0.40%	LD	0.40	0.019	1694	14.4
	LD-OTB	0.38	0.018	1696	10.7
0.70%	LD	0.66	0.012	1653	14.1
	LD-OTB	0.68	0.013	1656	9.2
0.80%	LD	0.81	0.019	1610	10.8
	LD-OTB	0.84	0.017	1613	9.2

Table IV. 4. Comparison of refining property.

Property at turn down	Process	
	LD	LD-OTB
[C] (%)	0.05	0.05
[Mn] (%)	0.13	0.20
[O] _F (ppm)	550	400
[N] (ppm)	17	10
(T. Fe) _{Slag} (%)	20	13

耐火物侵食量の監視技術など広範な技術開発により、その技術的課題を解決してきた。神戸製鋼所独自のこうした上下吹き転炉技術をもとに、実用化以後安定したオンライン操業を続けている。

さらに、上下吹き転炉技術の開発とあいまって、溶銑予備処理技術の開発と実用化により、転炉精錬に要求される機能は主に脱炭と昇温に集約されることになり、上下吹き転炉法の底吹きガスによる攪拌強化がますます重要な技術要素になっている。今後、こうした新製鋼プロセスをいかに、極低炭素鋼を含む高純度鋼の溶製に際しても、転炉機能を最大限に発揮できる上下吹き転炉技術の探索を続けていきたい。

文 献

- 1) 中西恭二, 鈴木健一郎, 別所永康, 仲村秀夫, 馬田 一: 鉄と鋼, **64** (1978), S168
- 2) 梅田洋一, 青木健郎, 松尾 亨, 増田誠一, 植田嗣治: 鉄と鋼, **68** (1982), A25
- 3) 河合良彦, 川上公成, 碓井 務, 豊田剛治, 長谷川輝之: 鉄と鋼, **68** (1982), A29
- 4) 村上昌三, 工藤和也, 甲谷知勝, 大河平和男, 平居正純, 甲斐 幹: 鉄と鋼, **68** (1982), A37
- 5) 斎藤健志, 中西恭二, 加藤嘉英, 野崎 努, 江見俊彦: 鉄と鋼, **68** (1982), A41
- 6) 喜多村実, 副島利行, 伊東修三, 安井 強, 松井秀雄, 林 務: 鉄と鋼, **66** (1980), S827
- 7) 喜多村実, 小山伸二, 伊東修三, 大神正彦, 宮下隆夫, 高田仁輔: 鉄と鋼, **66** (1980), S830
- 8) 成田貴一, 牧野武久, 松本 洋, 彦坂明秀, 勝田順一郎, 高木 弥: 鉄と鋼, **67** (1981), S937
- 9) 喜多村実, 伊東修三, 松井秀雄, 藤本英明, 小山伸二: 鉄と鋼, **68** (1982), A33
- 10) 副島利行, 小林潤吉, 松本 洋, 松井秀雄, 藤本英明, 中根義信, 源間信行, 佐藤哲郎: 鉄と鋼, **71** (1985), S989
- 11) 永井信幸, 川手剛雄, 喜多村実, 伊東修三, 藤本英明, 小山伸二: 鉄と鋼, **67** (1981), S808

V. NKK の場合

京浜製鉄所 長谷川輝之

1. トーマス転炉の稼働

NKK における転炉底吹き吹錬の歴史は、トーマス転炉(現在、川崎ミュージアムに寄贈展示)の稼働から始まったといえる¹⁾。1938年にドイツから導入したトーマス転炉、20t 炉3基は、その後1940年、1941年に各1基ずつ増設され、合計5基となった。

Fig. V. 1 にその概要を示す。底吹きであるがゆえに反応効率が良く、低炭素鋼を溶製しやすいことまた、低[N]対策としての底吹きガスの酸素富化操業等、種々の改善により順次鋼種の拡大が行われてきた。1942年には、NKK 全生産量の32% (全生産量920千t/年) を占めるに到った。戦後、原料事情から一時休止していたトーマス転炉は、1949年より4基再稼働をはじめ、その後さらに鋼の品質、耐火物(特に炉底)の改善が行

われたが、平炉、電気炉製鋼法に比べて必ずしも優位な状況ではなかった。そのような中で当時ヨーロッパにおいて発展しつつあった上吹き転炉(LD 転炉)の優位性に着目し、現地調査、5t 鍋における試験を経て、1958年トーマス転炉2基をLD 転炉に改造し稼働を開始した¹⁾。その後LD 転炉の品質、操業の良さからトーマス転炉の休止、平炉のLD 転炉へのリプレース、新製鉄所の建設(水江、福山、扇島)が進み、1970年に平炉は完全に休止した。

2. 上吹き転炉操業の改善

純酸素上吹きLD 転炉の稼働は、上吹きという溶鋼の攪拌不足にもかかわらず、その効率的な操業と鋼の品質の良さはいうまでもなく、ランスノズルを中心とした吹錬方法の改善、耐火物の改良等により製鋼法の主流となっていった。

NKK ではトーマス転炉における底吹き強攪拌の経験からLD 転炉の溶鋼の攪拌不足に起因するスラグメタル反応の不均一性に注目して大きく以下の二つの方向で各種試験を実施してきた。

その一つは上吹き酸素ランスを巡回させることにより火点を移動させ、石灰等の副原料の滓化を促進し脱りん特性を向上させ、さらに吹錬中の[Mn], Feの過酸化を抑制させるいわゆる巡回ランス式転炉法(LD Process with Circulating Lance, LD-CL)である。他の一つは溶鋼、スラグの攪拌を直接底吹きガスにより行う上下吹き吹錬法(NKK Combined Blowing, NK-CB)である。

Fig. V. 2, 3 はそれぞれの概要図である。

3. 巡回ランス式転炉法²⁾

LD-CL 法は研究所での試験後、1977年80t 転炉(水江製鉄所)、1979年250t 転炉(扇島)に適用された。ランスの巡回速度は0~15 rpm、火点の巡回半径と炉体径の比(偏心率)は0~0.4まで変更可能であり、通常

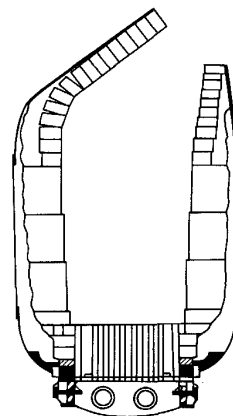


Fig. V. 1. Out line of Thomas converter.