

Table I .3. New processes developed by using combined blowing converter.

Process	Present condition
1) Dephosphorization of hot metal (SRP: Simple Refining Process) ¹⁶⁾	(1) Finished in 2.5 t furnace (2) Practical application to Wakayama (Aug. '89) (3) Practical application to Kashima (Jun. '87)
2) Smelting reduction of chrome ore	(1) Finished in 15 t CGS furnace ¹⁷⁾ (2) Practical application to Wakayama ('84)
3) Smelting reduction of iron ore	(1) Taking part in the National Project; DIOS
4) Melting of large amount of scrap (ASLUC: All Scrap by Lumpy Coal and Coke)	(1) Finished in 15 t CGS furnace ¹⁸⁾ (2) Under examination in the practical converter

ており、現在および近い将来への要求に応じていく技術となっている。

文 献

- 1) 小倉隆夫: 鉄鋼界, **30** (1980), p. 37
- 2) 池田隆果, 多賀雅之, 増田誠一: 鉄と鋼, **65** (1979), S194
- 3) 藤井毅彦, 荒木泰治, 丸川雄浄: 鉄と鋼, **53** (1967), p. 973
- 4) 川名昌志: 鉄鋼界, **64** (1978), p. 56
川名昌志, 岡崎有登, 永井潤, 数土文夫, 山田純夫, 馬田一, 朝穂隆一, 中西恭二, 鈴木健一郎, 加藤嘉英, 香月淳一: 鉄と鋼, **64** (1978), S165
- 5) 梅田洋一, 青木健郎, 松尾亨, 増田誠一, 多賀雅之, 中島英雅: 鉄と鋼, **68** (1982), S202
- 6) K. NAKANISHI, T. FUJII and J. SZEKELY: Ironmaking Steelmaking, **2** (1975), p. 193
- 7) 住友金属工業(株)(私信)1979年7月
- 8) 多賀雅之, 増田誠一: 鉄と鋼, **65** (1979), S675
平原弘章, 吉田克磨, 丸川雄浄, 山崎勲, 姉崎正治, 広木伸好: 鉄と鋼, **65** (1979), S676
平原弘章, 丸川雄浄, 山崎勲, 姉崎正治, 戸崎泰之, 平田武行: 鉄と鋼, **65** (1979), S677
- 9) S. ANEZAKI, K. MARUKAWA, T. UEDA, M. TAGA and K. YOSHIDA: The Steelmaking Days 1980, Paris, France (1980年10月)
- 10) IRSID and BSC: Presented to the Sidney Gilchrist Thomas Centenary Celebrations, Teesside, England (1979年5月)
- 11) 橘覚雄, 石井正満, 志野雅美, 山下良富, 姉崎正治: 住友金属, **36** (1984), p. 343
- 12) 多賀雅之, 平田武行, 牟田源助, 池田勲: 鉄と鋼, **69** (1983), S252
- 13) 姉崎正治: 東京大学工学博士学位論文(1985年3月)
- 14) 梅田洋一, 増田誠一, 多賀雅之, 姉崎正治, 平田武行: 住友金属, **32** (1980), p. 264
- 15) 梨和甫, 山口進, 佐藤光信, 家田幸治, 石川稔, 大喜多義道: 鉄と鋼, **68** (1982), S203
- 16) 松尾亨, 増田誠一: 鉄と鋼, **76** (1990), p. 1809
- 17) 丸川雄浄, 平田武行, 姉崎正治, 石川稔: 学振19委-No.10706 (昭和61年2月)
- 18) H. ISHIDA, K. MARUKAWA, S. ANEZAKI, T. HIRATA and S. SIODE: 7th Process Technology Conference AIME, Tronto (1988), p. 233

II. 新日本製鉄(株)の場合

八幡技術研究部 大河平和男

1. LD 転炉への底吹き攪拌導入の着想

1970年代後半には、LD 転炉技術も多孔ランス、サブランス、未燃焼ガス回収技術、耐火物の改良と補修技術等々の開発により、技術の成熟期に入っていた。

一方、1968年に西独で開発された純酸素底吹き転炉法は、粉石灰の底吹き技術が付与され、トーマス転炉の改良法から低りん銑の新製鋼法へと発展し注目され始めていた¹⁾。

新日本製鉄でも当時の生産技術研究所の2.5t試験転炉を用いて、1973年12月より44ヒートのOBM/Q-BOPの評価試験が実施された。その結果、新設時にはLD法より若干のコストメリットが期待できるが、スラグ中に火点の形成がないため、滓化促進に粉石灰の底吹きが不可欠であり、既存のLDからの設備改造は極めて大規模になるとの結論を得た。その後社としての研究は「溶銑脱りん・硫-スラグナシ脱炭法」の機能分割型精錬を指向することになった。

これに対し、八幡の製鋼技術者、研究者の間では、日本で最初に稼働した五製鋼転炉工場が、所の若返り計画による「鉄源の戸畑集約」で、1979年8月には休止されるという状況下、この転炉で新技術開発を成し遂げ、最後の使命としたいという熱い思いがみなぎっていた。

国内外の転炉に関する研究、特にOBM/Q-BOP法や、転炉に底吹きを併用した際の精錬効果に関する検討の中から、LD転炉における低炭素域での脱炭速度の低下や、スラグ中酸化鉄量の増大の挙動は、鋼浴の攪拌強さに依存するものと考え、この欠点を改善するため、強制攪拌機能を付与した上底吹き転炉の開発を目指すことになった。

2. 八幡五製鋼工場での開発試験

1977年12月、五製鋼転炉工場、設備部、八幡技研の関係者が集まり、底吹き機能を付加した新転炉法を、70t転炉を用いて通常の生産をしながら開発していくことを決め、工場決済の予算で実験を開始することになった。同時にこの技術をLD-AB (Agitation by Bottom Bubbling) 法と名付けることにした。関連の水モデル実験やラボ実験に次いで、1978年2月に70t転炉での最初の実験が開始された。この実験での底吹きは、トランオン部より導入したステンレスパイプを、炉体鉄皮とパーマネントレンガの間に配管し、炉底に導いた後中心部で立ち上げ、約100Nm³/hのArガスを吹き込んだ。その後適正な底吹きガス流量、羽口の安定開孔性、経済性の向上等を求め、単管外挿方式、(Ar-O₂)/Ar二重管、CaO粉の底吹き、O₂-C_mH_nの二重管方式について、3

キャンペーン、9シリーズの大規模な実炉実験を順次遂行し、1979年8月3日無事857ヒートの実験を終了した。

この一連の実験により、経済性の向上と羽口先端の安定開孔の確保のため、酸素を底吹きするLD-OB (Agitation by Oxygen Bottom Blowing) の基本技術を開発した^{2)~4)}。全送酸量の約10%を底吹きすることで十分な攪拌力を得ると共に、上吹き酸素による火点で、通常の塊状石灰でも滓化ができ、LDの操業自由度と、Q-BOPの反応効率を具備した上底吹き法の最適解として、LD-OBの実用化を推進することになった。

3. LD-OB法の実用化と新型式の底吹き法の開発

五製鋼工場での開発試験完了後、直ちに社の大英断により、八幡、大分両製鉄所での実機化が決定された。特に八幡第三製鋼工場の320t転炉は、八幡若返りの中核設備であり、この竣工(1979年4月1日)間もない最新鋭転炉が最初にLD-OBに改造されたのは意義深い。基本設計は底吹き酸素比率5~25%で、必要に応じ単独に交換できる外挿方式のLPG冷却二重管羽口6本での底吹きとなった。改造に当たっては設備的にも種々の難題があったが、関係者の英知を結集し、1980年7月31日待望のLD-OB一号機として八幡第三製鋼1号転炉が、関係者注視の中火入れされた。LD-OBの1炉代目は1本の羽口の突発的な異常溶損等で、204チャージで全羽口を密閉し、LDとして操業することになった。その後羽口寿命の延命策として、羽口構造、底吹きガス条件、羽口耐火物の材質や構造など種々改善し、5炉代目で1102回、7炉代目で1710回と順調に寿命を伸ばし、最近では4000回以上、社内記録としては君津二製鋼1号11炉代で6066回を記録するまでになった。冶金効果としては、スラグ鋼浴間の分配平衡への接近、温度の均一化が進み、スラグの全鉄分(T. Fe)がLDより数%低くても目標の脱りんが達成でき、これにより鉄歩留りの向上、吹止めマンガンの歩留りの向上、吹錬中投入するMn鉱石からのMn分の効率的回収、鋼浴中溶解酸素の低下効果も加わった添加合金歩留りの向上、優先脱炭促進による吹止め窒素の低下等開発試験と同様の冶金効果を享受した。

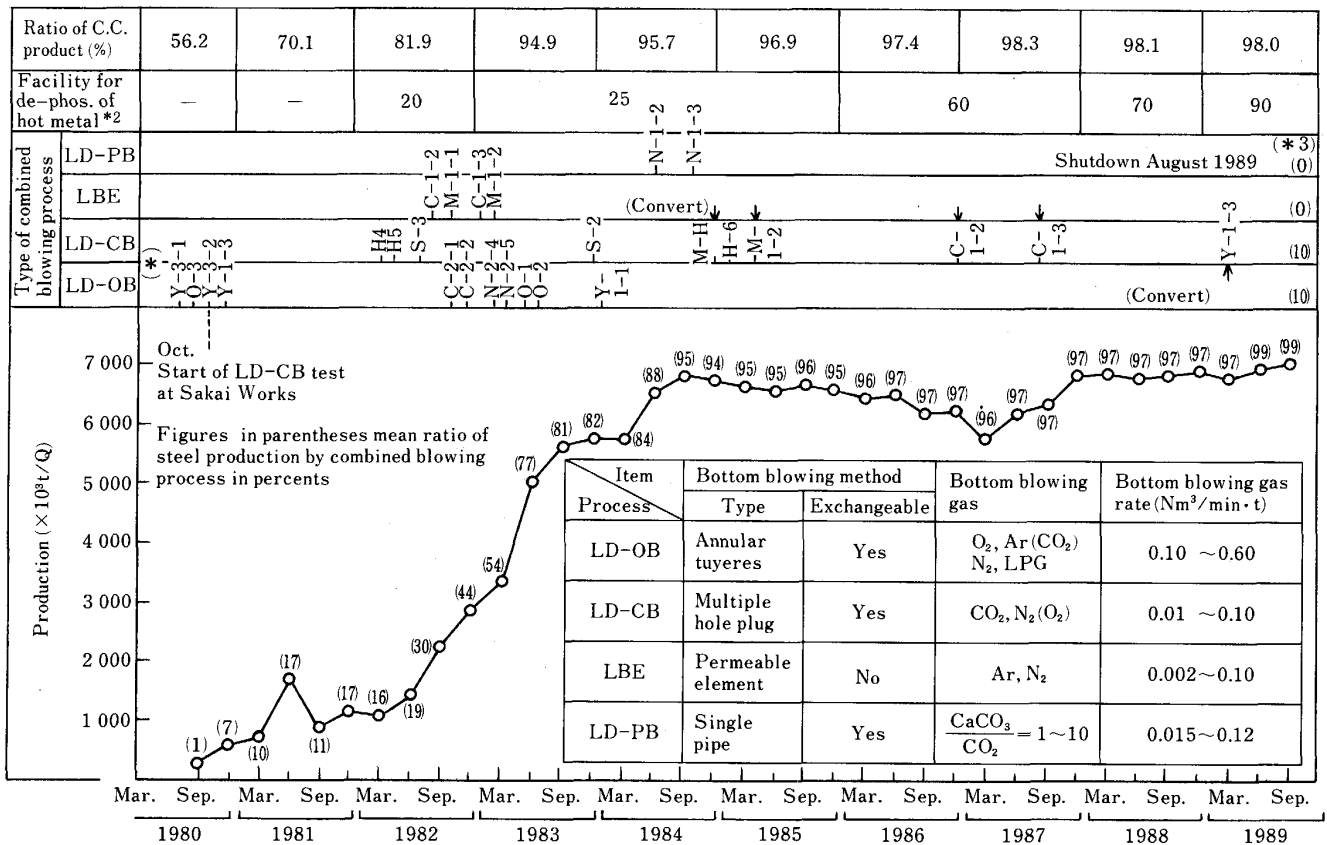
さらに新技術として、二重管羽口の外管から、灯油を吹き込み、灯油バーナーとして活用するスクラップの加熱技術⁵⁾、上底吹き酸素に適時アルゴンガスを混合し、ステンレスの脱炭時のクロム酸化を抑制する技術⁶⁾(1980年10月八幡一製鋼工場で実用化)、底吹き酸素にArやCO₂を混合し、冷却用LPGの使用量を低減し、吹止め水素をいっそう低める底吹き法の改善技術⁷⁾(1986年6月八幡三製鋼工場で実用化)等々が次々と実用化された。さらに成分・温度の均一化の促進で、終点

制御性が大幅に向上し、QT(Quick Tapping)出鋼率の向上などにも顕著な効果を収めた。このような効果から、適用メリットの大きい低炭素鋼の生産比率の高い八幡・大分・君津・名古屋の大型転炉は順次LD-OBに改造されていった。

しかし、溶銑脱りん法が実用化されていない段階では、中高炭素鋼をキャッチカーボン法で溶製するには、脱りんの点で若干難点があり、中高炭素鋼の生産比率の高い転炉工場用に、底吹きガス量が大幅に変更できる新底吹き法の実用化が必要であった。この一つの策として、既に世界的に普及していたLBE(Lance-Bubbling-Equilibrium)法をARBED社から技術導入し、君津一転炉(220t)を改造し、1982年8月20日にホットランさせ、その技術をマスターした⁸⁾。一方社内でも新たな「新羽口開発グループ」を発足させ、上記目標を達成すべく種々の羽口を検討し、以下に述べるLD-CB⁹⁾(LD-CO₂-Bottom Bubbling)、LD-PB¹⁰⁾(LD-Powder-Bottom-Blowing)の二方式の自社開発に成功した。

LD-CB:堺製鉄所を中心に1980年10月より本格的な開発試験操業が始まった。多数のステンレス細径管の集合体からなるプラグより、CO₂を例えば0.01~0.10 Nm³/t·min 約10倍の流量変更幅で吹込み可能である。細径管ならびにその配置の選択による冷却能の適正化により、先端部にマッシュルームを形成し、羽口の損耗を抑制する底吹き法である。必要に応じ、酸素混合ガスを通し通気性を回復する操業技術の開発と、3本設置1本稼働の熱間変換可能な外挿方式の採用により、冶金効果の長期間安定享受が可能となった。1982年3月広畑4号転炉、7月堺3号転炉で実機化された後、種々の改善で羽口寿命3098回、炉体寿命4792回の記録をつくるまでに技術も向上した。設備改造費が安く操作性もよい上に、LBEに比して1炉代通して安定した冶金効果が享受できる利点から、社内のLBEはLD-CBに再改造されると同時に、海外への技術輸出もあり、国内外25転炉が稼働している。

LD-PB法:名古屋一製鋼工場の水素厳格材の溶製が多いという特殊事情に合わせて、名古屋製鉄所で開発された。本法はCO₂とCaCO₃微粉の混合流体を単管で吹き込むものであり、CaCO₃の混合比率を変化させ、熱分解で発生するCO₂量を増減することにより、0.015~0.12 Nm³/t·min まで約10倍底吹きガス量をコントロールできる。底吹きガス量に応じた冶金特性の向上に加えて、熱分解で生成する微細なCO₂ガス気泡による効率的な脱水素の進行で、炉止め水素1.5 ppmという低水素鋼の溶製が可能である。名古屋一製鋼2,3号炉に1984年6月と10月相次いで実機化されたが、転炉としては1989年8月で休止され、12月LD-ORP(LD-Optimizing the Refining Process)溶製予備処理炉に改造された。



* Y-3-1 : Yawata No. 3 steelworks No. 1 converter
 O : Oita M : Muroran H : Hirohata S : Sakai C : Kimitsu N : Nagoya
 *2 Ratio of facility capacity for hot metal de-phosphorization per total production of hot metal (%)
 *3 Number of converters in operation

Fig. II.1. Trends in steel production (%) by combined blowing process, type of combined blowing process, ratio of steel production by continuous casting process and facility capacity of hot metal de-phosphorization process at Nippon Steel Corp..

以上四方式の上底吹き転炉を実用化した、その冶金効果は、底吹きガスの種類による有効ガス量の差や送酸速度の差を考慮し、大河平により提案された BOC (Balance of Oxygen and Carbon Feeding Rate) により統一的に整理できる¹¹⁾。

Fig. II.1 には連続鋳造化ならびに、1982年9月君津で初めて大規模に実用化された溶銑予備処理技術の設備化の進展とともに、上底吹き転炉鋼の量と比率の伸びと、方式別実用化推移をまとめて示した。製鋼プロセスの革新の大きな目標の一つであった「機能分割型精錬」の設備化が進行する内、十分な攪拌力を有する LD-OB は脱炭炉の中核として位置づけられる。

4. 上底吹き転炉の新分野への応用

製鋼炉としてだけでなく、Cr 鉱石や Mn 鉱石の熔融還元炉としての応用技術が開発され、前者はステンレス鋼の製造工程で実用化されている。さらに次世代の新製鉄法としての鉄の熔融還元法においても基本技術として組み込まれ、鋭意実用化研究が進められている。鋼浴攪

拌の強化は型銑やスクラップの溶解促進効果も大きく、炭材の燃焼熱を利用して、オールスクラップ溶解も可能であり、その一方式として、安価な粉炭を炉底の三重管羽口から吹き込む「冷鉄源新溶解法」が1990年秋より広畑・室蘭両製鉄所で営業運転に入る予定である。その他石炭のガス化炉としての応用等、高炉～転炉方式をベースとする鉄鋼生産プロセスの枠を越えてその応用分野は広がっている。

文 献

- 1) 第3版鉄鋼便覧Ⅱ (日本鉄鋼協会編) (1979), p. 497 [丸善]
- 2) 甲斐 幹, 平居正純, 大河平和男, 飯田 宏, 田中 新, 樋口満雄: 鉄と鋼, **66** (1980), S233
- 3) 甲斐 幹, 大河平和男, 佐藤宣雄, 越智昭彦, 松崎秀生, 石橋政衛: 鉄と鋼, **66** (1980), S234
- 4) 甲斐 幹, 中川 一, 平居正純, 村上昌三, 中島陸生, 荒木八郎: 鉄と鋼, **66** (1980), S235
- 5) 森玉直徳, 佐藤宣雄, 内村鉄男, 池崎英二, 青木裕幸, 山下幸介, 村上昌三: 鉄と鋼, **71** (1985), S182
- 6) 村上昌三, 佐藤宣雄, 内村鉄男, 青木裕幸, 樋永雅光, 小林雅明: 鉄と鋼, **70** (1984), S1017

- 7) 高崎義則, 中嶋睦生, 稲富俊隆, 宮本浩一, 山下浩介, 迫村良一: 鉄と鋼, **73** (1987), S162
- 8) 湯川 正, 村上義男, 下村健介, 中路慶紀, 原田俊哉, 平野真悟: 鉄と鋼, **69** (1983), S247
- 9) 礎平一郎, 城野 裕, 本多通保, 有馬慶治, 金本通隆, 上田裕二郎: 鉄と鋼, **69** (1983), S1012
- 10) 森 正晃, 小林 功, 吉田学史, 二瓶 清, 石井光嗣: 鉄と鋼, **72** (1986), S171
- 11) 大河平和男, 平居正純, 村上昌三, 甲斐 幹: 製鉄研究 (1984) 314, p. 97

Ⅲ. 川崎製鉄(株)の場合

千葉製鉄所 朝穂 隆一
 千葉製鉄所 大西 正之
 水島製鉄所 数土 文夫

1. はじめに

1977年1月, 千葉製鉄所第三製鋼工場において純酸素底吹き転炉(Q-BOP; Quick, Quiet, Quality, Quantity-BOP)が稼働して以来, 転炉内鋼浴の強攪拌が, 優れた冶金効果をもたらすことが認識された¹⁾²⁾. これを契機として, 上吹き転炉(LD転炉)に底吹きガス攪拌を付加した上底吹き転炉の開発が活発に行われるようになった. 川崎製鉄においても, Q-BOP稼働2年後の1979年から1981年の間に, 多量の酸素ガスと生石灰粉の底吹きが可能な強攪拌型上底吹き転炉(K-BOP; Kawatetsu-BOP)の開発と, 設備改造費の安価な小流量不活性ガス底吹き転炉(LD-KG; LD-Kawatetsu Gas Stirring)の開発を行い, 転炉精錬機能の強化に努めてきたので, その経緯を述べる.

2. 上底吹き転炉の導入

Q-BOP導入時, 川崎製鉄は千葉製鉄所の二つの工場

(2基+3基)と水島製鉄所の二つの工場(3基+3基)に合計11基のLD転炉を有していた. 各製鋼工場ごとに溶製鋼種が異なっているため, すべてのLD転炉をQ-BOP並みの強攪拌型転炉に改造するのは設備改造費を考えても得策ではないことが予想された. 一方Q-BOP導入時並行して建設した5t多目的試験転炉を用いて, 底吹き転炉と上底吹き転炉の鋼浴内攪拌および冶金反応の比較実験を行い³⁾, 底吹きガスを付加することによりスラグ-メタル間の非平衡状態が著しく改善され優れた冶金反応特性が得られることが判明した. その結果各製鋼工場の溶製鋼種を考慮に入れ, 千葉製鉄所150t LD転炉と水島製鉄所180t LD転炉をLD-KGに改造し, さらに千葉製鉄所85t LD転炉と水島製鉄所250t LD転炉をK-BOPに改造した.

転炉の攪拌力を中西⁴⁾らの提案した均一混合時間で評価した結果をFig. Ⅲ.1に示した. K-BOPはQ-BOPに匹敵するほどの強攪拌力を有する転炉であり, LD-KGはLD転炉の攪拌力を若干改善した転炉であることが分かる.

2.1 K-BOPへの改造

2.1.1 水島製鉄所第二製鋼工場の場合⁶⁾

川崎製鉄の主力工場の一つである水島製鉄所第二製鋼工場の溶製鋼種は, 薄板向低炭素アルミキルド鋼を主体とし高級電縫管用およびUOパイプ素材をはじめとする高級鋼を溶製していた. そのためRH脱ガス処理比率が高く, 転炉の平均出鋼温度は1650°Cを超えていた. Q-BOPの操業条件と比較すると平均出鋼温度が約50°C高く, 底吹き法を採用した場合羽口耐火物の寿命の低下が懸念された. しかしQ-BOPの成功を契機として水島製鉄所第二製鋼工場においてもLD転炉の特徴を有し, さらにQ-BOPの優れた特性を加えた汎用

Table Ⅲ. 1. Development of top and bottom blown converters at Kawasaki Steel Corporation.

Steelmaking shop		1977 (s52)	1978 (s53)	1979 (s54)	1980 (s55)	1981 (s56)	1982 (s57)	Steel grade
Chiba Works	No.1				85t LD×2	81/4 ←K-BOP→		Stainless steel Hot strip; High carbon steel
	No.2		150t LD×3		79/9 ←LD-KG→ (83/5 LD-KGC)			Heavy plate; High tensile strength steel Hot strip; Steel for high grade
	No.3	77/1 ←			230t Q-BOP×2			Hot strip; Low C, Al killed steel
Mizushima Works	No.1		180t LD×3		79/11 ←LD-KG→ (82/8 LD-KGC)			Steel for seamless pipe & bar Hot strip; High carbon steel Low-medium carbon steel
	No.2		250t LD×3		80/4 ←K-BOP→			Hot strip; Low C, Al killed steel Steel for high grade Heavy plate; Steel for UO pipe High tensile strength steel

K-BOP: Kawatetsu-BOP LD-KG: LD-Kawatetsu Gas Stirring LD-KGC: LD-Kawatetsu Gas Control