

## 複合吹錬（上下吹き）転炉の開発の経緯

## Development History of Combined Blowing Converter

## I. 住友金属工業(株)の場合

鉄鋼技術研究所 姉崎 正治  
和歌山製鉄所 山崎 勲

## 1. 複合吹錬法の研究開発経緯

## 1.1 複合吹錬の発想

酸素上吹き転炉に対して、上底吹きという複合吹錬の考えが生まれた背景には次に示す二つの動きが、社内にも同時進行していた。

(1) 開発集団“Z プロジェクト”の誕生<sup>1)</sup>と転炉精錬のブレークスルー課題への挑戦……鹿島製鉄所

(2) 2.5 t 規模の AOD のステンレス精錬に上吹きランスからの酸素供給を併用するプロセスの開発<sup>2)</sup>……研究所

Z プロジェクトは 1978 年 1 月、当時未曾有の不況の中で、まさに Z 旗を掲げて合理化に取り組むべく、鹿島製鉄所に誕生した開発専従チームである。そのテーマの一つとして転炉操業技術の飽和状態を打破する課題に取り組んだ。住友金属工業の転炉精錬技術は、脱炭の台形公式の提案<sup>3)</sup>に始まり、クリティカルポイント(D 点)以下での脱炭酸素効率の改善、すなわち鋼浴、スラグの過酸化の抑制に工夫が注がれていた。その一つとして、耐火物ランスをサブランスとして、吹錬終了後鋼浴中に浸漬してガスを吹き込み、鋼浴とスラグ間の強制攪拌テストも行った。

一方研究所で進められていた上吹きランス併用型 AOD 精錬の応用として、普通鋼の転炉内脱りん反応の改善を目的に上底吹き転炉精錬の研究が始められ、徐々にそのプロセス特性が明らかになってきた。

この間、当時川崎製鉄に導入された Q-BOP の情報<sup>4)</sup>も上吹き転炉の対極として議論され、精錬のフレキシビリティの点から適度な攪拌力をもった上底吹き転炉が最も良いのではないかという結論に至った。そしてこれら上吹き転炉と底吹き転炉の精錬機能を止揚するものとして複合吹錬法と呼ぶこととした。合わせて底吹きガスとして炭酸ガスを含むプロセスを住金式複合吹錬法(STB: Sumitomo Top and Bottom)としたのである。そして 1978 年 8 月から翌年 3 月まで、鹿島製鉄所の 250 t 転炉を使った実証試験および実用化試験が行われた。

## 1.2 実炉実証試験とその結果

1978 年から 1979 年にかけて、鹿島 250 t 転炉では主に低炭素鋼対象に 88 チャージ、小倉 70 t 転炉では [C] が 0.7% までの中高炭素鋼を主体に 98 チャージの実証試験を行い、複合吹錬の効果を確認した。

## 1.2.1 鹿島 250 t 転炉での結果

実験を行って最初に驚いたことは、高々 0.28 Nm<sup>3</sup>/min・t の底吹きガス (Q-BOP の約 1/10) の導入で、スラグ中の全鉄分 (以下 T.Fe) も鋼浴中 [O] も大幅に低下し、鋼浴の CO 分圧 (P<sub>CO</sub>) にして [C] < 0.05% で 0.5 気圧 (atm) まで低下してしまっただけである。これが底吹きガスに CO<sub>2</sub> を用いても同じ結果が得られたことで好奇心を更にかきたてた。

ちなみに、この時のテストで得られた精錬効果および操業性に及ぼす底吹きガス流量の影響を整理したものが Fig. I. 1, Fig. I. 2 である。(T.Fe) や [O] の挙動でわかるように、底吹きガス量が約 0.20 Nm<sup>3</sup>/min・t 以上では効果が飽和してしまうほどであり、またスロッピングやスピittingが増加して操業のばらつきが大きくなるなどで、結局複合吹錬法での最適な底吹きガス流量範囲としては 0.05~0.15 Nm<sup>3</sup>/min・t であることを見出した。またコストメリットとしては低炭素アルミキルド鋼で当時 250 円/t 見込まれ、実用化へ前進した。これらの事実からそれまでの Q-BOP への思い入れは完全に打ち消されることとなった。

## 1.2.2 小倉 70 t 転炉での結果

高炭素鋼の転炉精錬での最大の課題は脱りんである。当時精錬としてはソフトブローでスラグ中 (T.Fe) を高めると共に、滓化促進を図る方法が講じられていた。複合吹錬では、滓化率の向上は蛍石の増量で可能であったが、スラグ中 (T.Fe) は底吹き攪拌により大幅に低下するために、脱りんの改善は困難であった。このため高炭素鋼への複合吹錬の適用を断念した。

しかし他方、研究所の 2.5 t 転炉で、上吹きランスの酸素ジェット中に生石灰粉を随伴させ、鋼浴中に侵入させて脱りん反応を行わせしめる新しい複合吹錬 (STB-P<sup>5)</sup>: STB-Powder) 法を開発中であった。中高炭素鋼での壁を破るべくこの方法の開発が継続され、Fig. I. 3 で示すような明瞭な効果が期待されたので和歌山 160 t 複合転炉にて 1981 年に実証試験に入った。

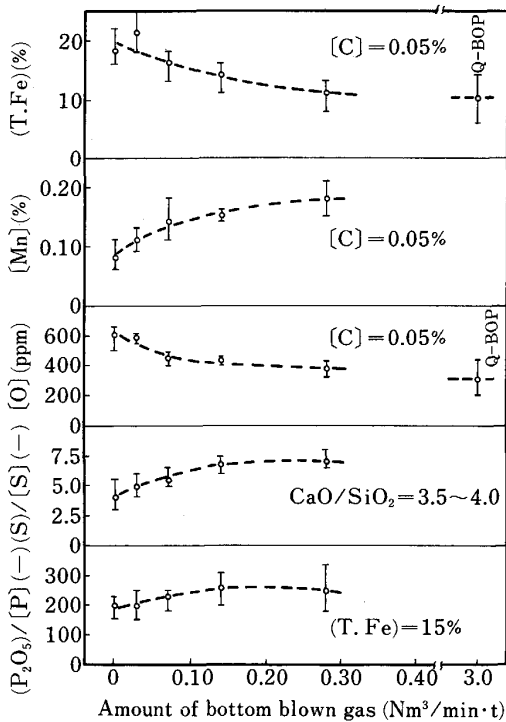


Fig. I. 1. Effects of the amount of bottom blown gas on the end point composition in 250 t STB process.

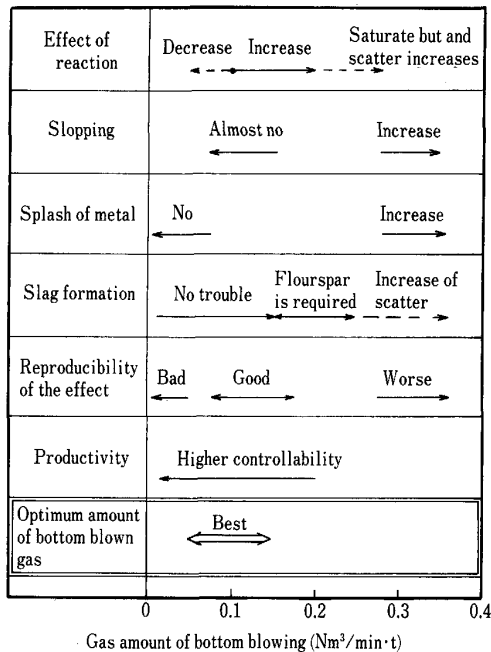


Fig. I. 2. Optimum amount of bottom blown gas for low carbon steel in 250 t STB process.

しかし他社を含め、溶銑予備処理の方向に急旋回していく中で実用化には至らなかった。

1.3 底吹き攪拌力の驚威と実用化促進

STB法の精錬効果を定量的に把握するため、中西

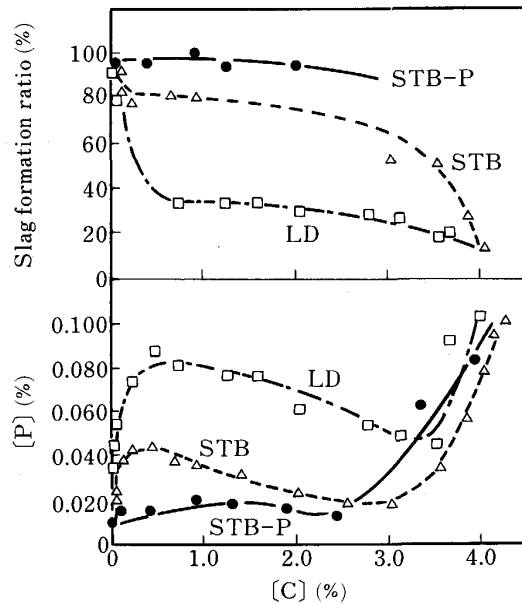


Fig. I. 3. Comparison of STB-P, STB and LD on dephosphorization in refining.

らの攪拌に関する式<sup>6)</sup>を初めて複合吹錬炉に適用した<sup>7)</sup>。その結果その式から求まる浴の完全混合時間が、Q-BOPのそれの3~4倍でもスラグ-メタル間の反応効果がQ-BOPと同程度に得られることが判明した。このことで、複合吹錬法の魅力が一段と高まり、開発にいつその拍車がかかり、日本でいち早く実用化に至らしたためである。

1.4 世に問う

1979年7月国内製鋼関係者の非公式会合で論文報告<sup>7)</sup>をし、同年10月第98回日本鉄鋼協会秋季講演大会にて住金式複合吹錬(STB)法の開発結果を報告<sup>8)</sup>して、一大センセーションを巻き起こした。次いで1980年10月フランスATSにて論文発表<sup>9)</sup>を行うと共に欧米との技術交流を行った。当時ヨーロッパにおいても複合吹錬の研究が行われつつあり<sup>10)</sup>、転炉における新しい時代の到来が察知された。

2. 複合吹錬法実用化の実態

2.1 実用化への系譜

住友金属工業における複合吹錬法実用化の系譜をTable I.1にまとめた。1976年にその芽が生まれ、約10年を経て対象とする転炉への実用化を達成した。

2.2 現在の複合吹錬法の実態

Table I.2に現在住友金属工業で稼働している複合吹錬法の内容をまとめた。特徴としては精錬対象に応じて各種の底吹き羽口形状と底吹きガスを使い分けている点にある。

2.3 付帯技術

2.3.1 炭酸ガス製造プラント<sup>11)</sup>

鹿島製鉄所は STB 法の底吹きガスとして炭酸ガスを採用した。その理由として鋼質に悪影響がないこと、羽口保護ガスとしての冷却能の大きいことおよび鋼浴中 [C] と反応して 2 倍容の一酸化炭素 (CO ガス) となり攪拌効果を生み出すこと等の特徴を生かすことにしたのである。そして炭酸ガス製造プラントとして、転炉排ガスを水蒸気でシフト反応させた後回収する方式を開発し、1980 年 7 月に 1 号機 (CO<sub>2</sub>, 500 Nm<sup>3</sup>/h), 1984 年 2 月に 2 号機 (CO<sub>2</sub>, 1 000 Nm<sup>3</sup>/h) を稼働させた。

2.3.2 熱間炉底交換技術<sup>12)</sup>

鹿島 250 t STB 炉では、立上げ当初からの羽口寿命

維持の困難さを軽減させるために、羽口部を含む炉底の直径約 2 m 部分を熱間で交換する技術を開発し、1980 年 8 月より実施に移した。

3. 今後の展望

住友金属工業は 250 t 規模の大型転炉での複合吹錬法を世界に先駆けて実用化し、その後の急速な普及をうながした。更に開発当初から 15 t 規模の試験炉も建設して、複合吹錬のもつ機能の拡大と新しいプロセスの開発に取り組んできた。その主な内容と進捗を Table I.3 にまとめた。これらは複合吹錬がその土台となっ

Table I. 1. Development of combined blowing technology in Sumitomo.

Classification	Equipment			Stage of development (No.: Month)												Purpose of development
	Works	Plant	Capacity (t/heat)	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86		
Basic investigation in small scale furnace	Kashima	—	Water model			3 x	6 x									Investigation of bottom blowing condition <sup>13)</sup>
	Amagasaki (Laboratory)	AOD	2.5	10 x					8 x							Application of O <sub>2</sub> top blowing to AOD <sup>14)</sup>
		Converter	2.5	3 x	2 x											Investigation of top and bottom blowing converter STB <sup>14)</sup> (STB: Sumitomo Top and Bottom)
		Converter	2.5				8 x						10 x			Investigation of flux blasting through top lance in combined blowing converter (STB-P) <sup>5)</sup>
	Kashima	CGS	15				12 x									Investigation of new utilization of combined blowing technology
Application to carbon steel	Kokura	Steel making plant	70			5 x	8 x									Application test to high carbon steel refining
	Wakayama	No.1 steel-making plant	160											9 o		Application to middle carbon steel refining
		No.2 steel-making plant	160						7 o							Application to low carbon steel refining
			160						9 x					7 x		Developing test of STB-P (STB-Powder injection) <sup>15)</sup>
	Kashima	No.1	250			3 x	12 x		2 o							First application test to the largest converter
No.2		250				24 x									Application to low carbon steel refining	
Application to stainless steel	Amagasaki	AOD	10							9 o						Practical application of combined blowing AOD
	Wakayama	AOD	90							12 o						Practical application of combined blowing AOD

Key: x-----x Under development    o----- Practical application

Table I. 2. Characteristics of combined blowing technology in Sumitomo.

Works	Steelmaking plant	Capacity of converter (t/heat)	Method of bottom blowing				Present condition of practical application to refining of
			Tuyere		Blowing gas		
			Type	Number	Gas	Flow rate (Nm <sup>3</sup> /min·t)	
Kokura	—	70	—	—	—	—	Only experiment
Wakayama	No. 1	160	Single annular	4	Ar, N <sub>2</sub>	~0.14	SRP Stainless steel
		160	Double annular	4	Ar, N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> (LPG)	~0.50	
	No. 2	160	Multiple holes	4	Ar, N <sub>2</sub>	~0.20	Low carbon steel
Kashima	No. 1	250	Single annular	4	CO <sub>2</sub> , Ar, N <sub>2</sub>	~0.20	SRP Low carbon steel
		250	Double annular	4	CO <sub>2</sub> , Ar, N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> (LPG)	~0.10	

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

Process	Present condition
1) Dephosphorization of hot metal (SRP: Simple Refining Process) <sup>16)</sup>	(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 <sup>17)</sup> (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 <sup>18)</sup> (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<sup>1)</sup>。

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100Nm<sup>3</sup>/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-O<sub>2</sub>)/Ar二重管、CaO粉の底吹き、O<sub>2</sub>-C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>の二重管方式について、3