

技術報告

予備処理溶銑の転炉における脱炭技術の開発

中村 康久*・梅沢 一誠*・南 昭喜*
松永 久*³・山本 里見*⁴

The Development of Technology for Decarburization of Pre-refined Hot Metal in BOF

Yasuhisa NAKAMURA, Kazusige UMEZAWA, Akiyoshi MINAMI,
Hisashi MATSUNAGA and Satomi YAMAMOTO

Synopsis :

A method by combination of soft-blow with oxygen bottom blowing (CS-OB method) which is suitable for decarburization of desiliconized, dephosphorized and desulphurized (pre-refined) hot metal in BOF has been developed. Its blowing condition had to be decided to increase the Fe yield. The Fe yield in the decarburization of pre-refined hot metal was mainly affected by spitting and Fe oxidation since the decarburization was carried out with small amount of slag. The CS-OB method was characterized by the combination of extremely soft top blowing with bottom gas stirring to decrease both spitting and Fe oxidation at the same time.

The most suitable condition found in the 0.5 t/ch lab. test and the 100 t/ch BOF test was $L/L_0=0.1\sim 0.2$, the bottom gas flow rate $=0.2\sim 0.25 \text{ Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$.

Oxygen used for the post combustion of CO gas in the furnace increased by soft blowing in the CS-OB method. Heat efficiency of the post combustion was estimated about 90% in the 100 t/ch BOF test.

1. 結 言

近年、製鋼工程において極低りん鋼の製造、普通鋼精錬コストの最小化を目的とした多段製鋼プロセスが普及しつつある。この結果、転炉の機能は脱炭および昇温のみとなりつつある。このため転炉精錬においては精錬用のフラックスは不要となり、スラグ量が大幅に減少する。このような精錬は一般にスラグレス脱炭あるいはスラグレス精錬と呼ばれている。

スラグレス脱炭時には鉄浴表面をおおう多量のスラグが存在しないため、スラグ中への鉄分損失が少ない¹⁾、脱炭酸素効率が高い¹⁾、吹き止め [H] が低下する¹⁾²⁾など、多くの精錬上の利点がある。一方、スピittingなどによる鉄分損失¹⁾が問題となる。

スピitting抑制に対して効果的な精錬法として超ソフトブロー上底吹きスラグレス脱炭法 (以下 CS-OB 法[†] と呼ぶ) を基礎実験および 100 t 上底吹き転炉を使

用した確性試験により開発した。CS-OB 法はスラグレス脱炭時のスピitting低減を目的とした精錬法であり、超ソフトブローの上吹き送酸 ($L/L_0 \approx 0.1$) と底吹きガスによる浴攪拌を組み合わせることをその特徴としている。

Q-BOP の稼動以来、その技術改善を目標とした複合吹錬技術が開発されてきたが、これらの目的はいずれもより適切な攪拌力を与えることにあると言える。CS-OB 法もその技術思想と似ていると考えられるが、スラグレス脱炭の場合には精錬時のスラグ-メタル 間反応制御を目的とした上吹条件の設定が不必要なだけでなく、鉄浴と O_2 とが直接接触する比率が高いため脱炭酸素効率におよぼす上吹条件の影響も小さくなるなどの相違がある。また、スピittingなどの粒鉄飛散を緩和するスラグの機能がないので、上吹き、底吹条件の設定は鉄分

† CS-OB : Combination of soft-blow with oxygen bottom blowing

昭和 57 年 4 月、10 月本会講演大会にて発表 昭和 60 年 4 月 3 日受付 (Received Apr. 3, 1985)

* 新日本製鉄(株)広畑技術研究部 (Hirohata R & D Lab., Nippon Steel Corp., 1-1 Fuji-cho Hirohata-ku Himeji 671-11)

*² 新日本製鉄(株)広畑製鉄所 (Hirohata Works, Nippon Steel Corp.)

*³ 新日本製鉄(株)製鋼技術部 工博 (Steel Making Division, Nippon Steel Corp.)

*⁴ 新日本製鉄(株)製鋼研究センター (現: 秋田工業高等専門学校) 工博 (Steelmaking Technology Lab., Nippon Steel Corp., Now Akita Technical College)

Table 1. Experimental condition (0.5 t/ch).

Weight of hot metal	0.5 t/ch
Chemical composition of hot metal	[C]≅4%, [Si]≅0.01%, [Mn]≅0.4%, [P]=0.02-0.05%, [S]≅0.02%
Oxygen flow rate	2.48 Nm ³ /t·min
Blowing time	15-20 min
Lance nozzle	for top and bottom blowing: 3.6φ×3, 7.0φ×3 for top blowing : 3.0φ×3, 5.0φ×1
Lance height	160-600 mm
Bottom blowing gas flow rate	0.1-0.3 Nm ³ /t·min
Flux	No flux

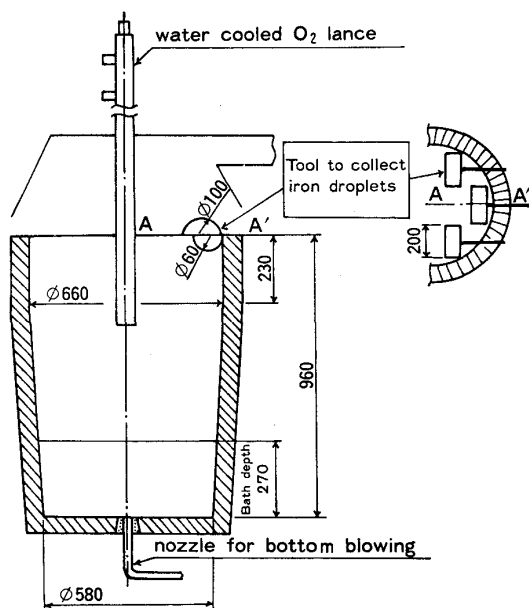


Fig. 1. Experimental apparatus (0.5 t/ch).

歩留向上を主な目的として行われる点にも特異性がある。

CS-OB 法では底吹き攪拌により鉄酸化が抑制され、上吹きの超ソフトブロー化によりスピittingが抑制される。このため鉄分歩留が向上する。また、上吹きを超ソフトブロー化しているために炉内での CO ガスの 2 次燃焼が促進され、熱的余裕が増加する。これらの点について 100 t 炉での上吹きスラグレス脱炭法、通常上吹き転炉法との対比、基礎実験の結果をふまえて以下に考察する。

2. 実験方法および条件

2.1 0.5 t/ch 実験

電気炉で Table 1 に示した組成の溶銑を溶製し、Fig. 1 に示した実験炉でこの溶銑を脱炭精錬した。精錬中の組成変化を 2~4 min ごとに採取した試料を分析して調査した。また、2~4 min ごとに消費型熱電対により温度測定した。スピitting量の相対的評価を行うため、Fig. 1 に示したような粒鉄採取治具を用いて粒

鉄を採取した。脱炭精錬の条件を Table 1 に示した。

2.2 100 t/ch 試験

高炉溶銑を石灰系フラックスにより予備精錬し [Si], [P], [S] を Table 2 に示す組成まで減少させた。予備精錬した溶銑約 100 t を上底吹き転炉（全燃焼ボイラー型）に屑鉄とともに装入し脱炭精錬した。Table 2 に吹き止め時の溶鋼組成、スラグ組成を示した。また、精錬条件の特徴を通常上吹き転炉法、上吹きスラグレス脱炭法と比較して Fig. 2 に示した。

脱炭精錬前の溶銑、精錬後の溶鋼の重量、組成、温度を計測した。また、脱炭精錬中に転炉出鋼孔から炉内雰囲気ガス採取を行い、ガス組成を求めた。同様に転炉出鋼孔から熱電対を炉内に 500 mm 挿入して、炉内雰囲気ガス温度を測定した。湿式排ガス集塵機の集塵水中のダスト濃度およびダスト中铁分を、1 チャージにつき 5 回測定しダスト量の推移を求め、その積算値をダスト発生量とした。

3. 実験結果

3.1 0.5 t/ch 実験結果

Fig. 3 に上吹きスラグレス脱炭法と CS-OB 法の脱炭酸素効率 (η_{O_2-C}) を示した。脱炭酸素効率は脱炭最盛期のそれを示している。キャビティ深さ (L) の算出には次式³⁾を用いた。

$$\left. \begin{aligned} L &= L_h \cdot \exp(-0.78 \cdot h/L_h) \\ L_h &= 63.0(k \cdot F_{O_2}/n \cdot d)^{2/3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

L : キャビティ深さ (mm), h : ランス高さ (mm) F_{O_2} : 送炭量 (Nm³/hr), n : ノズル数, d : ノズル直径 (mm), k : 定数

Table 2. Chemical composition of hot metal, steel and slag (100 t/ch).

Hot metal	[C]	[Mn]	[P]	[S]
Hot metal	3.5-4.5	0.05-0.29	0.004-0.038	0.004-0.027
Steel	0.01-0.37	0.06-0.26	0.008-0.049	0.005-0.028
Slag.	(T. Fe) 6.8-33.6	(CaO) 22.8-57.8	(SiO ₂) 6.9-17.8	(MgO) 5.4-21.4

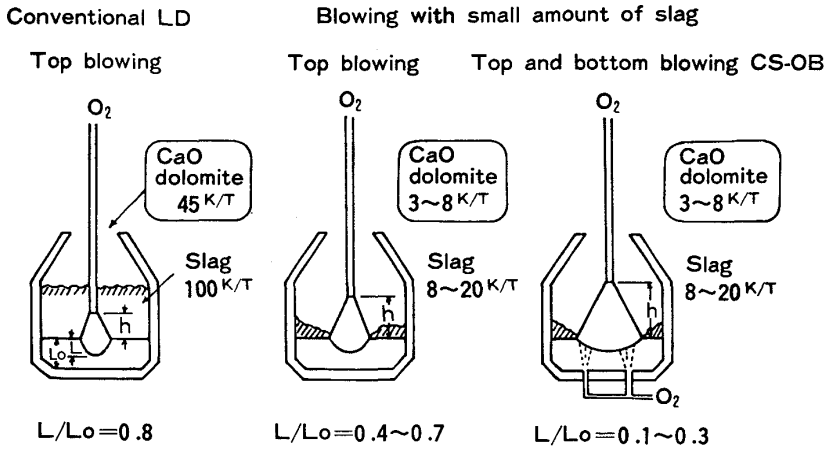


Fig. 2. Experimental conditions (100 t/ch)

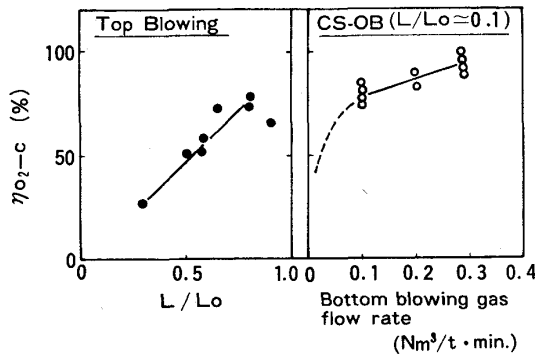


Fig. 3. Comparison of O₂ efficiency (η_{O_2-c}) in blowing with small amount of slag between top blowing method and CS-OB method (0.5 t/ch).

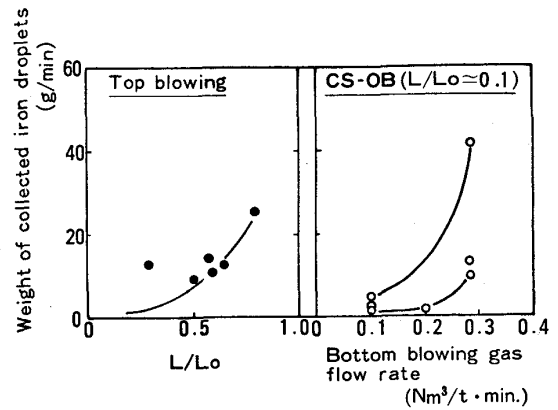


Fig. 4. Comparison of spitting quantities in blowing with small amount of slag between top blowing method and CS-OB method (0.5 t/ch).

同式はいわゆるハードブローの領域に対して実験的に求められた式であり、超ソフトブローの領域に対しても適用できるかいは確認されていない。ここでは便宜的に同式を用いて L を算出した。

上吹きスラグレス脱炭法では L/L_0 の低下とともに脱炭酸素効率が低下し、 $L/L_0 < 0.3$ では脱炭が停滞した。一方、CS-OB 法では $L/L_0 = 0.1$ であるにもかかわらず高い脱炭酸素効率で脱炭が進行する。本実験では L/L_0 が 0.06 以下では脱炭が停滞した。

Fig. 4 に上吹きスラグレス脱炭法と CS-OB 法のスピitting量の対比を示した。同図の縦軸は粒鉄採取治具に 1 min 間当たり採取された粒鉄重量である。同図から上吹きスラグレス脱炭法では L/L_0 の増加とともにスピitting量が増加するのがわかる。これは中尾ら⁴⁾の結果と定性的に一致する。CS-OB 法では底吹きガス量が 0.2 Nm³/t·min 以下ではスピitting量は上吹きスラグレス脱炭法の 1/2~1/10 となっている。しかし、底吹きガス量が 0.3 Nm³/t·min になると上吹きスラグレス脱炭法並あるいはそれ以上となる。

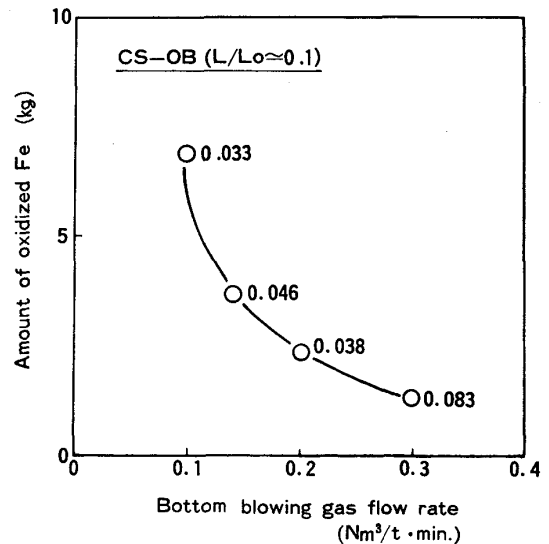


Fig. 5. Influence of bottom blowing gas flow rate on Fe oxidation (0.5 t/ch, suffix: [C] %).

CS-OB 法での吹き止め時の鉄酸化量と底吹きガス量の関係を Fig. 5 に示した。図中添字は吹き止めの [C]

% である。鉄酸化量はマンガンの物質収支が成立していると仮定して溶銑，溶鋼の重量，組成，スラグの組成から計算で求めた。底吹きガス量の低下にともなつて吹き止め時の鉄酸化量が多くなることがわかつた。

Fig. 3, Fig. 4 から高脱炭酸素効率，低スピitting量の両者を満足させるのは，上吹きスラグレス脱炭法では難しく，CS-OB 法では可能であると言える。また，Fig. 4, Fig. 5 から CS-OB 法ではスピittingと鉄酸化防止のための底吹きガス量に適正値があり，本実験ではその量は 0.2 Nm³/t·min 程度であると言える。

3.2 100 t/ch 試験結果

3.2.1 鉄分歩留り

同一転炉での CS-OB 法，上吹きスラグレス脱炭法，通常上吹転炉法の鉄分歩留りを Fig. 6 に示した。それぞれの数値はいずれも 80 ~ 100 チャージの平均値である。CS-OB 法では通常上吹き転炉法と比較して平均 1.9%，上吹きスラグレス脱炭法と比較して平均 1.3% 鉄分歩留りが上昇している。なお鉄分歩留りは次式で定義した。

$$\eta_{Fe} = \frac{W_{ST}(1 - \sum X_i \cdot ST) \times 100}{W_{HM}(1 - \sum X_i \cdot HM) + 0.996W_{SC} + 0.65W_{ORE} + 0.25W_{MNORE} + 0.17W_{FERO}}$$

$$\sum X_i = ([\%C] + [\%Si] + [\%Mn] + [\%P] + [\%S]) / 100$$

..... (2)

η_{Fe} : 鉄分歩留り (%), W : 重量 (t), 添字 HM : 溶銑, ST : 溶鋼, SC : スクラップ, ORE : 鉄鉱石, $MNORE$: 鉄, Mn 鉱石, $FERO$: 合金鉄

3.2.2 熱的挙動

スラグレス脱炭では熱源として溶銑中の炭素のみを考えればよいので，熱的挙動を示す特性値として昇温率

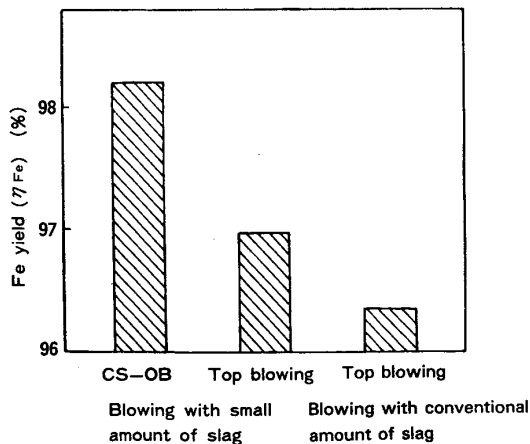


Fig. 6. Fe yield (η_{Fe}) in various blowing methods (100 t/ch).

([C] 1% 当たりの鉄浴温度上昇) を定義する。ただし，試験では溶鋼温度調整のため冷材としてスクラップ，鉄鉱石などを使用したので，これらを補正して昇温率を次式で定義した。

$$\Delta T / [\%C] = \frac{T_{ST} - T_{HM} + 2000 / W_{HM} (3.2W_{ORE} + W_{SC})}{[\%C]_{HM} - [\%C]_{ST}}$$

..... (3)

ΔT [%C]: 昇温率 (°C/[%C]), T : 温度 (°C)

昇温率と脱炭酸素効率の関係を Fig. 7 に示す。ここでは脱炭酸素効率は 1 チャージを通しての平均のそれを示す。CS-OB 法では上吹きスラグレス脱炭法と比較すると脱炭酸素効率が低く，昇温率が高くなつているのが特徴的である。CS-OB 法で熱的余裕が増加している理由は炉内での CO ガスの 2 次燃焼のためであると推定される。

Fig. 7 の直線は脱炭に使われなかつた酸素 (以下無効酸素) がすべて CO ガスの 2 次燃焼に使われたとして，その反応熱が 100% 鉄浴温度上昇に寄与したと仮定した場合の傾きを示している。これから無効酸素は CO ガスの 2 次燃焼に使われ，しかもその反応熱の利用効率 (熱効率) がかなり高いことが推定される。

4. 100 t/ch 試験結果の考察

4.1 鉄分歩留向上の要因

CS-OB 法，上吹きスラグレス脱炭法，通常上吹転炉法の 3 者の鉄分歩留の差について，鉄収支の比較および基礎実験の結果から考察する。

CS-OB 法，上吹きスラグレス脱炭法，通常上吹き転炉法の平均的な鉄収支を Table 3 に示した。同表の各数値は次のようにして求めた。

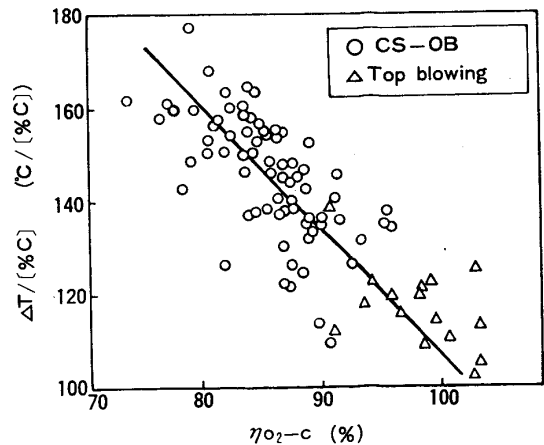
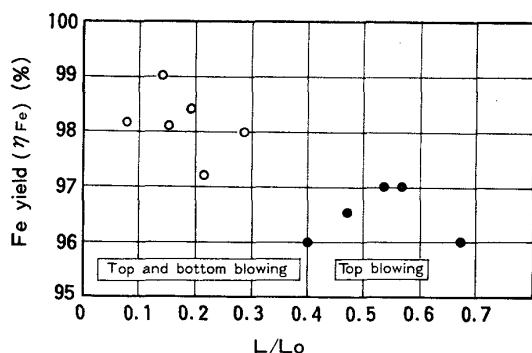


Fig. 7. Relation between $\Delta T / [\%C]$ and η_{O_2-c} in blowing with small amount of slag (100 t/ch).

Table 3. Typical Fe balance in various blowing methods (100 t/ch).

Amount of slag	(100 t/ch)		
	Conventional amount of slag	Small amount of slag	
Blowing method	Top blowing	CS-OB	Top blowing
Steel	96.3 (%)	98.2 (%)	97.0 (%)
Fe oxide (Slag)	1.49	0.25	0.27
Dust	0.52	0.64	0.51
Unknown	1.69	0.91	2.22

Fig. 8. Relation between L/L_0 and η_{Fe} in blowing with small amount of slag (100 t/ch).

溶鋼中鉄分：平均的歩留りを示したチャージの代表例。

スラグ中酸化鉄：同上。

ダスト：各精錬法について集塵水中のダスト量を測定した数チャージ (5~8 チャージ) の平均値。

各精錬法の鉄収支の特徴を要約すると次のようになる。

(1) スラグレス脱炭法では通常上吹転炉法と比較してスラグ中への鉄酸化損失が大幅に小さくなっている。

(2) さらに CS-OB 法では鉄収支上の不明分が大幅に小さくなっている。

(3) ダスト量は三者ではほとんど変わらない。

CS-OB 法と上吹きスラグレス脱炭法の鉄分歩留りの差は鉄収支上の不明分の差によると言える。

スラグレス脱炭時の鉄分歩留りと L/L_0 の関係を Fig. 8 に示した。図中プロットはおおのこの L/L_0 に対する 10~20 チャージの平均を示している。 L/L_0 の減少により鉄分歩留りが上昇する傾向が現れている。基礎実験の結果から L/L_0 の減少によりスピットング量が減少していると推定され、スラグレス脱炭時の鉄収支上の不明分の差はスピットング量の差を示していると推定される。

上吹きスラグレス脱炭法では L/L_0 が 0.55 以下では

L/L_0 の減少にともなつて鉄分歩留りが減少する傾向が見られる。これは底吹き攪拌なしに上吹きをソフトブロー化したため鉄酸化量が増加したことによると推定される。

CS-OB 法での不明分は造塊時の排出スラグ中への地金、粒鉄損失、予備処理工程からの混入スラグを溶銑として見積もつたことによる誤差、およびその他の計算誤差を含んでいる。これらを試験操業の平均値から概算すると約 0.85% となり、CS-OB 法では実質的にスピットングによる不明分がほとんどないことがわかる。このように CS-OB 法では基礎実験で予想されたように L/L_0 を 0.1 程度にすることにより、スピットングによる粒鉄の炉外飛散、炉壁付着がほとんどなくなり鉄分歩留りが飛躍的に向上したと言える。

なお、底吹きガスによるスピットングへの影響については、底吹きガスを設備制約上の理由により 0.25 Nm³/t·min 以上にはできなかったため明確にできなかった。

4.2 適正上吹き、底吹条件の検討

スラグレス脱炭の場合、適正上吹き、底吹条件設定は主に鉄分歩留りの向上を目標に行われる。現在の技術では鉄浴に投入したエネルギーをスピットング発生と攪拌に人為的に分配することが難しいので、鉄損失は投入エネルギーによりほぼ決定されると考えると模式的には Fig. 9 が得られる。上吹条件、底吹条件に対しておのこの Fig. 9 に対応する関係を定量化し、両者の最適な組合せを行うことにより鉄損失を最少にする必要がある。

本来ならば規模の大小を問わない普遍的な指標により適正条件を評価することが必要であるが、ここでは便宜的に L/L_0 、底吹きガスを指標に用い上吹き、底吹きの適正条件を示す。この理由から以下に示す適正条件は

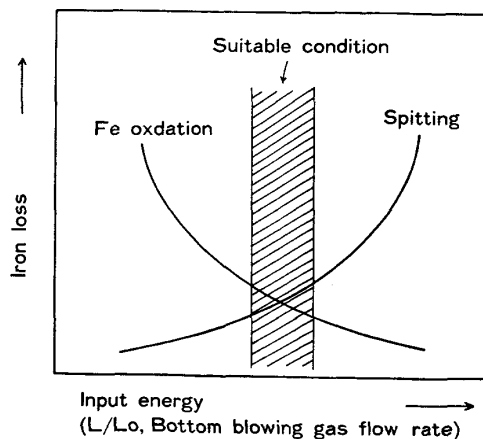


Fig. 9. Schematic relation between input energy and iron loss in blowing with small amount of slag.

普遍的なものとは言えないが、100 t/ch 試験でのそれは実機転炉で得られた適正条件であり、転炉での精錬を前提にすれば適正条件はこの条件と大きく変わらないと考えられる。

まず上吹き条件について示す。Fig. 8 から 100 t/ch 試験では L/L_0 が 0.2 を越えると鉄分歩留りが低下することがわかる。この試験では L/L_0 が 0.1 以下ではスロッピングが多く L/L_0 の下限は 0.1 程度と考えられる。以上から適正上吹き条件は $L/L_0=0.1\sim0.2$ である。

次に底吹き条件について示す。前述したように 100 t/ch 試験では底吹きガス量を $0.25 \text{ Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$ 以上になかったため底吹きガス量のスピittingに対する影響は明確でない。しかし本試験条件の範囲内では 4.1 節で示したようにスピittingによる鉄損失は実質的にゼロであり、スピittingに関してはこの範囲は適正範囲内であると言える。

鉄酸化については Fig. 10 (図中の各点は 10~20 チャージの平均値を示す。) に示したように、底吹きガス量が $0.15 \text{ Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$ 以下では底吹きガス量の低下にともなつて (T. Fe) が上昇する傾向が見られる。これに対し底吹きガス量が $0.15\sim0.25 \text{ Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$ ではこの傾向が小さくなり、 $0.25 \text{ Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$ では (T. Fe) の絶対値は 320 t LD-OB 法⁵⁾のそれに近い値となる。また、鉄収支上の鉄酸化損失も 4.1 節で示したように 0.25% と低く抑えられている。

以上から底吹きガス量 $0.25 \text{ Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$ は適正条件を満たしていると言える。

上吹き、底吹きの適正条件は 3.1 節で示した $0.5 \text{ t}/\text{ch}$ 実験のそれに近い条件になっているが、各条件の指標そのものが普遍的と言えないことから、現在のところこの

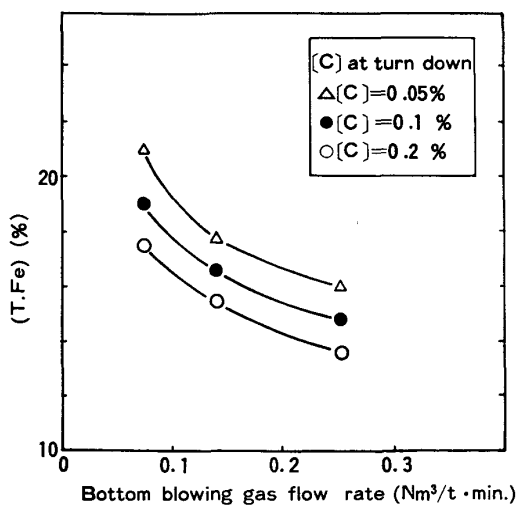


Fig. 10. Influence of bottom blowing gas flow rate on (T.Fe) in slag at turn down (100 t/ch).

一致について議論することはできない。

4.3 炉内での CO ガスの 2 次燃焼率, 着熱効率の推定

CS-OB 法では上吹きスラグレ脱炭法と比べて脱炭酸素効率が低く、昇温率が高い。これから、炉内での CO ガスの 2 次燃焼が増加していると推定した。これを確認するために吹錬中に炉内の雰囲気ガスを採取し炉内燃焼率を調査した。雰囲気ガスは 1 チャージに約 2 min おきに 6 回採取した。侵入空気がある場合、次の前提で侵入空気による燃焼分を補正し、侵入空気がないとした場合の $\text{CO}/(\text{CO}+\text{CO}_2)$ 比を求めた。

(1) 侵入空気中の酸素は全て CO の CO_2 への燃焼に使われる。

(2) 雰囲気ガス中の N_2 は侵入空気のそれである。

各精錬法での炉内雰囲気ガスの $\text{CO}/(\text{CO}+\text{CO}_2)$ 比の各チャージの平均推移を Fig. 11 に示した。CS-OB 法で

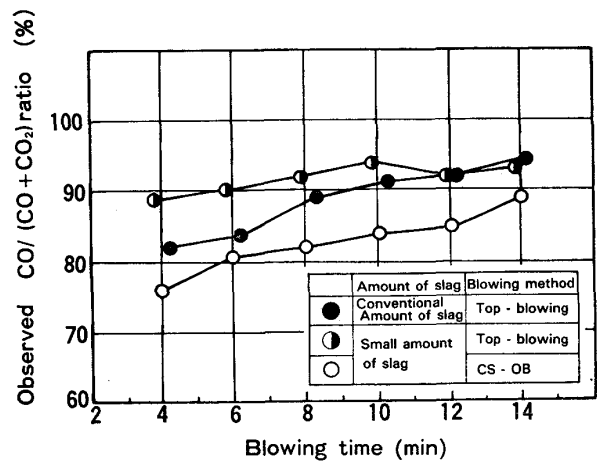


Fig. 11. Changes in $\text{CO}/(\text{CO}+\text{CO}_2)$ ratio in various blowing methods (100 t/ch).

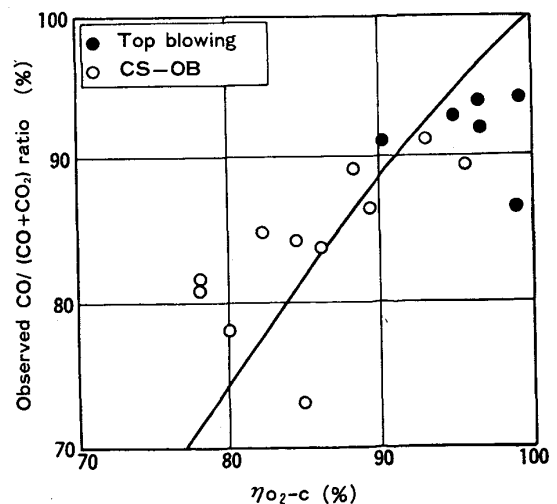


Fig. 12. Relation between $\eta_{\text{O}_2-\text{C}}$ and observed $\text{CO}/(\text{CO}+\text{CO}_2)$ ratio in blowing with small amount of slag (100 t/ch).

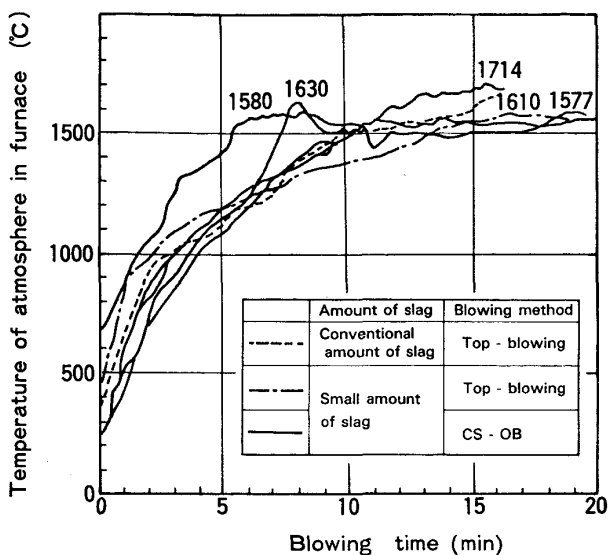


Fig. 13. Changes in temperature of atmosphere in furnace measured by thermocouple in various blowing methods (100 t/ch).

は CO/(CO+CO₂) 比が他の 2 法より低くなつており、炉内での CO ガスの 2 次燃焼が多いことがわかる。

Fig. 12 にチャージ平均の脱炭酸素効率と CO/(CO+CO₂) 比の関係を示した。同図中の実線は、脱炭に使われなかつた酸素がすべて CO ガスの 2 次燃焼に使われたと仮定した時の横軸と縦軸の関係を表している。実験点がこの線を中心にはばらついているので、供給酸素のうち脱炭に使われなかつた酸素のほとんどが CO ガスの 2 次燃焼に使われたと考えてよいことがわかる。

Fig. 7 から CO 2 次燃焼熱の利用効率 (熱効率) が高いことが推定されるとした。この点についてさらに検討する。

炉内雰囲気ガス温度の測定結果を Fig. 13 に示す。熱電対による測定であり、真のガス温度を示しているとは限らないが、CS-OB 法の場合に他の 2 法と比べて特に雰囲気ガス温度が高くなつていようなことはない。これは 2 次燃焼熱の熱効率が高いことに対応している。

次に熱収支計算により 2 次燃焼熱の熱効率の推定を行う。2 次燃焼熱の熱効率については種々の定義が考えられるが、ここでは齊藤ら⁶⁾の定義を用いる。熱収支計算では物質収支が成立している場合に入出熱を積算してその収支をとるが、普通の場合出熱が入熱に比べて小さくなる。すなわち、出熱に不明分が現れる (Fig. 14)。この不明分は出熱として計上できないもので熱損失と考えられ、炉体放散熱、耐火物蓄熱などが含まれる。齊藤らの定義では出熱として排ガス顕熱を計上するさいに、鉄浴温度と同じ温度の排ガスを仮定している (この分は無効ではないという考え方をしているため) ので、排ガス

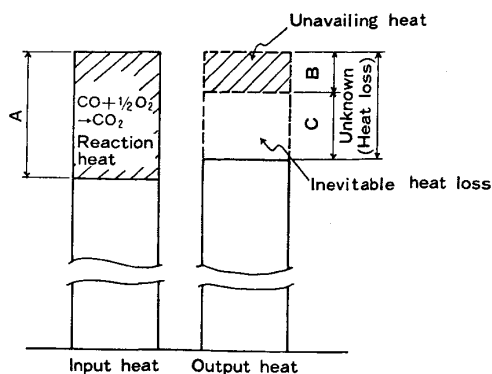


Fig. 14. Conception of heat efficiency.

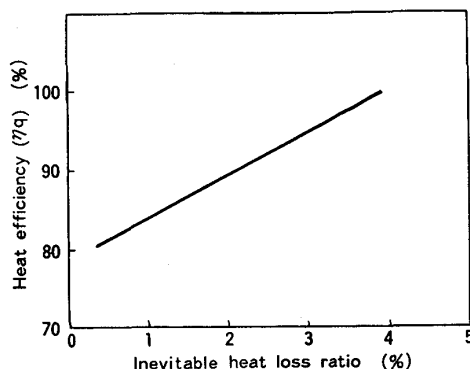


Fig. 15. Relation between inevitable heat loss and η_q in CS-OB (100 t/ch).

温度が鉄浴温度より高い場合にはこの分の排ガス顕熱が熱損失に含まれる。2 次燃焼率がゼロの時の熱損失を必要熱損失とし、それ以外を無効熱とし、2 次燃焼熱の熱効率は Fig. 14 中の記号を用いて次のように定義される。

$$\text{熱効率} (\eta_q) = \left(1 - \frac{B}{A}\right) \times 100 (\%) \dots\dots\dots (4)$$

おのおののチャージについて熱収支計算を行うことにより熱損失 (不明分) が求まる。これにより必要熱損失と 2 次燃焼熱の熱効率の関係を求めることができる。CS-OB 法での平均的な例を Fig. 15 に示す。同図の横軸には必要熱損失と全入熱の比、必要熱損失比を用いた。

必要熱損失比は必ず正值になるので、同図から CS-OB 法での 2 次燃焼熱の熱効率は 80% 以上であることがわかる。

CS-OB 法と同一の精錬条件で 2 次燃焼率がゼロの場合の熱損失が必要熱損失である。これが同転炉での通常操業時の熱損失に等しいとして熱効率を推定する。同転炉での通常操業時の熱損失比は平均約 2.5% (n=94) である。これを必要熱損失比とすると、Fig. 15 から CS-OB 法での 2 次燃焼熱の熱効率は 90% 程度となる。

このように2次燃焼熱の熱効率を極めて高く、炉内上部空間で燃焼したガスからの輻射伝熱でこのような高効率が得られるためには、雰囲気ガス温度がかなり高くななくてはならないと考えられ実測と一致しない。炉内での2次燃焼熱の伝熱機構については、上吹き転炉の導入期にすでにKRAINER⁷⁾が示唆的な講演を行っている。この講演内容から伝熱機構として次の2者が考えられる。

(1) 高酸化度のスラグ (Fe^{3+} が多いスラグ) がCOガスによつて還元され CO_2 が生成するため熱効率が高い。KRAINERはカルド炉で2次燃焼率が高いのはこの理由によるとしている。

(2) 超ソフトブロー化により上吹き O_2 ジェット中での燃焼が促進され、ジェット中で CO_2 の生成が起こるため熱効率が高い。KRAINERは同講演で、ランス高さとジェット中の CO_2 濃度の関係の測定データを示している。これによれば、ランス高さが高い程ジェット中の CO_2 濃度が高くなっており、超ソフトブロー化による2次燃焼率上昇と一致している。

以上の二つの機構が考えられるが、両者とも次のような疑問点を残しており、2次燃焼の伝熱機構についてはさらに検討が必要である。

(1)については、スラグ脱炭時に酸化度の高いスラグが存在していることは確認されているが⁸⁾、COによるスラグの還元速度が実際の CO_2 生成速度に見合う速度であるか否か確認されていない。(2)については、ジェット中の CO_2 は [%C] の高い鉄浴に衝突すれば再びCOに還元される可能性が高く、ジェット中の CO_2 濃度が高いことが必ずしも2次燃焼率が高いことと対応しない。また、ジェット中の CO_2 による伝熱だとした場合、上部空間での燃焼に比べて熱効率は高い

と考えられるが、この場合も原理的にはバーナーによる伝熱と同じであり、90%という極めて高い熱効率が得られるかどうかは確証がない。それゆえ高熱効率となるための詳細は2次燃焼機構の検討が望まれる。

5. 結 言

スラグ脱炭に最も適した精錬法としてCS-OB法を開発した。同法の精錬条件は鉄分歩留りの向上を主目的に決定され、スピitting、鉄酸化による鉄損失を最小にするため底吹きによる攪拌を併用した超ソフトブローの上吹きがその特徴となつている。

0.5 t/ch 基礎実験 および 100 t/ch 転炉での試験では、適正条件は上吹き $L/L_0=0.1\sim 0.2$ 、底吹きガス量 $=0.2\sim 0.25 \text{ Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$ であつた。

上吹きの超ソフトブロー化により脱炭酸素効率は低下するが、脱炭に使われなかつた酸素のほとんどが炉内でのCOガスの2次燃焼に使われる。また、2次燃焼の熱効率は90%程度と推定される。

文 献

- 1) 山本里見, 石川英毅, 桑原正年, 小久保一郎, 中嶋睦生, 小菅俊洋: 鉄と鋼, 69 (1983), p. 611
- 2) 木村雅保, 松井秀雄, 伊東修三, 齊藤 忠, 副島利行, 喜多村実: 鉄と鋼, 69 (1983), p. 1893
- 3) 瀬川 清: 鉄冶金反応工学, p. 94 [日刊工業新聞社]
- 4) 中尾安幸, 大野唯義, 三村満俊, 武田安男, 堀内弘夫, 大野俊明: 鉄と鋼, 68 (1982), S 14
- 5) 甲谷知勝, 工藤和也, 村上昌三, 沖森真弓, 中島醋生, 磯村福義: 鉄と鋼, 67 (1981), S 10
- 6) 齊藤 力, 中村康久, 石川英毅, 山本里見, 馬場賢一, 京島良幸: 鉄と鋼, 70 (1984), S 1030
- 7) H. KRAINER: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1194
- 8) 小島正道, 井手 武, 西村光彦, 桜田盛勝, 石川英毅, 阿部泰久: 鉄と鋼, 70 (1984), S 1025