

討5 転炉炉内反応について

新日鉄 八幡技研 ○渡辺 司郎 山口 紘
手塚 誠 一戸 正良

1 緒言

転炉炉内反応，特に脱炭反応の推移におよぼす各種操業要因の影響を明らかにすることは，炉内反応機構の解明に貢献し，さらに直接・間接に転炉操業技術の向上につながるとの観点から，当所では従来より転炉脱炭反応に関する一連の研究を進めてきた⁽¹⁾。しかしながら転炉炉内反応は極めて複雑であり，なお脱炭反応の機構を明確にするには到つておらず，さらに詳細に脱炭反応の進行に影響する諸要因を明らかにし，脱炭反応と深い関連を有する Si, Mn, Fe の酸化，石炭の碎化，さらにはスラグ-メタル間反応などについても検討が必要になつている。

そこで当所では従来の研究に引き続いて，2.5 ton 試験転炉において大巾に吹錬条件を変更して吹錬実験を行ない，吹錬中の炉内反応の推移を調べ解析を加えている⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。本報告では炉内反応の解明に手がかりを与えると考えられる若干の反応についての解析結果を述べ，炉内反応モデルを立てる場合に合理的に説明しなければならぬと考えられる諸現象について考察した。

2 実験および解析方法

吹錬実験法はすでに報告した⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾通りである。各試験ヒートの吹錬条件（送酸条件，装入物条件など）および吹錬中のメタル・スラグ成分変化や温度変化などは，すべて電算機ディスク内に記憶されており，必要に応じて特定の試験条件のヒートを選び出し，基本的な各種計算（例えば各元素酸化量，スラグ量，物質・熱バランスの推移など）を行なつた結果を得ることが出来るようにプログラムが組まれている。

従来試験転炉で行なわれた吹錬を実験条件によつて表1のようなグループに分けることが出来る。

表1. 試験グループ別実験条件

試験グループ	試験数	送 酸 条 件			装 入 物				
		送酸速度 N ₂ /hr.t.pig	ノズル 孔径(mm)×孔数	ジェット侵入 深さ mm	溶 銑 ton/heat	スクラップ ton/heat	焼石灰 Kg/t.pig	螢 石 Kg/t.pig	ケイ砂 Kg/t.pig
基本試験	120	120~230	12.0×1	320~520	2.5	0	60	10	0
副材変更試験*	45	200	12.0×1	350~520	2.5	0	0~160	0~24	0~24
高速吹錬(I)**	45	150~600	7.0~12.8×3	270~510	2.0, 1.6	0, 0.4	60	10	0
高速吹錬(II)**	25	400~1200	10.2~16.2×3	230~400	1.0	0	60	10	0

* 副材変更試験の一部は基本試験と重複している。

** 湯だまり部レンガ積みをも2~2.5 ton装入の場合と相似に縮小している。

平均溶銑組成および温度は各試験グループ毎に若干変動しているが，通常 C4.2, Si0.7, Mn0.75, P0.14%, 温度1290℃である。

本報告では主として上記の試験のうち高速吹錬(II)を取扱う。送酸速度を大巾に変更している反面，ランスギャップが試験転炉の設備上200~830mmに制限されているため，ランスノズル径を大巾に変えて，ジェット侵入深さ $L^{\text{⑤}}$ を270~510mmに保つてスロツピングやジェットの炉底侵蝕を防いでいる。そのために従来行なつてきたように，ランスギャップを送酸条件の要因としてとることには解析上問題があるので，送酸速度・ノズル径およびランスギャップの関数である L を送酸速度とともに送酸条件の要因として取上げた。

3 従来の解析結果

今回行なわれた解析結果を述べる前に今回の解析と密接な関係にある、従来からの当所における解析結果^{(1)~(4)}をこゝで総括する。

(1) 脱炭基本パターンの送酸速度による変化

脱炭速度推移の観察から、脱炭の進行は3期に分けることができ、才2、3期の脱炭速度は次式で表わされることが示された。

$$\text{才2期: } -dc/dt = k_2 \quad \text{才3期: } -dc/dt = k_2 - k_3(t - t_B)$$

こゝで k_2, k_3 は定数、 t_B は才2期の終了する時間を示している。

この基本パターンは広い送酸速度範囲にわたってマクロ的によく脱炭反応の進行状況を表わしていることが認められており、前述のほゞ全試験を通じた解析によつて、 $120 \sim 1200 \text{ Nm}^3/\text{hr} \cdot \text{t} \cdot \text{pig}$ の範囲で以下の各式の関係が得られている。

$$t_A = 1.28 \cdot 10^3 \cdot (1/\sqrt{V_{O_2}}) + 0.02 \quad (n = 146, r = 0.879)$$

$$k_2 = 1.64 \cdot 10^{-5} \cdot V_{O_2} + 0.005 \quad (n = 195, r = 0.978)$$

$$k_3 = 4.69 \cdot 10^{-6} \cdot V_{O_2}^{1.88} - 0.0005 \quad (n = 103, r = 0.946)$$

こゝで t_A は才2期に入るまでの時間であるが、Si, Mnのない溶銑の場合には才1期が認められず直ちに才2期に入ることが確かめられているので、 t_A の解析には $\text{Si} + 0.25 \text{ Mn}$ が $0.5 \sim 1.0\%$ であるピートのみを対象とした。

(2) 脱炭特性値および鉄酸化に影響する要因

統計的解析手法によつて見出された各種要因を表2にまとめて示す。

表2. 脱炭および鉄酸化に影響する要因

特性値	データ出所	n数	送酸条件			浴深	溶銑成分 c=1.0%での状態						重相関係数
			V _{O2}	b	L		C _p	Si _p	TSV	SV	B	Temp.	
k ₂ k ₃ (T.Fe) t _A t _A	基本試験	66	+++	/	++	---	/	/	---	/	/	/	0.914
		66	+++	--	/	---	/	/	-	++	/	/	0.712
		44	---	+++	/	---	---	/	/	/	/	/	0.800
		44	---	/	/	/	+++	/	/	/	/	/	0.915
k ₂ (V _{O2}) 2nd k ₃ (ΔT.Fe) _{c=1.0~J05} (T.Fe) t _A (ΦT.Fe) _{c=1.0}	副材変更試験	38	/	/	/	/	/	/	---	/	/	/	0.602
		38	/	/	/	/	/	/	---	/	/	/	0.642
		38	/	/	/	/	/	/	/	+	---	/	0.700
		44	/	/	+	/	/	/	+++	/	++	+	0.710
(T.Fe) t _A (ΦT.Fe) _{c=1.0}	全試験	119	/	/	---	/	++	--	/	/	/	/	0.723
		125	/	/	---	/	/	/	/	/	/	/	0.823

4. 解析結果

上述のように脱炭およびそれと深い関係のある鉄酸化に対して、送酸条件、スラグの状況、溶銑組成などが複雑に関与していることが明らかにされた。そこでこゝではこれらの要因の一部について、Si, Mn, Feの酸化、および酸素効率の推移など脱炭反応の解明に有力な手がかりとなると考えられる諸現象にどのように影響をおよぼすかを検討した。

(1) Si, Mnの酸化：Oに対するSi, Mnの優先酸化は転炉において一般に認められているが、その優先酸化度合はV_{O2}によつては層別されず、Lの影響を受ける。図1に示すようにL大なるほどSiは優先酸化する。またSiとMnは図2に見られるように全く同時に酸化し、L, V_{O2}の影響はない。

(2) Feの酸化：図3に示したようにばらつきは大きい、鉄酸化に対するLの効果は大きい。また吹錬初期のFe酸化はSiが0.1%まで進行し、以後はスラグ中のT.Feが還元される。

(3) 酸素効率：各元素の酸化に使われた酸素量（CはCOとして計算）の送酸量に対する比率（全酸素効率）を図3に示した。 I_1, V_{O_2} の効果は明らかではない。

5 検討

以上の解析結果を総合して、炉内反応の推移に影響を持つ2,3の因子の定性的な検討を行なう。

(1) 送酸速度：まず脱炭反応が $120 \sim 1200 \text{ Nm}^3/\text{hr} \cdot \text{t} \cdot \text{pig}$ といつた広い送酸速度範囲で、何ら異常を生ずることなく進行していることに注目したい。各種脱炭特性値が V_{O_2} の合理的な関数として表されることは、この範囲内で反応がマクロ的には同一の機構で進行していることを示している。高送酸速度でもなお酸素供給律速段階（オ2期）が認められ、酸素効率も非常に高いことは、火点反応域が送酸速度の増加に比例して増大し、供給される O_2 ジェットをほとんど完全に捕捉し、かつ反応域への溶鋼供給が著るしく早いことを示している。このことは O_2 が一度 FeO^* の形で捕えられ、反応域はこの FeO^* と溶鋼とがある種のエマルジョンを形成している領域であるとの説⁽⁶⁾を支持しているように思われる。

(2) ジェット侵入深さ：従来の解析結果も、こゝで示した解析結果も、 O_2 ジェットのエネルギーバランスから計算される鋼浴への O_2 ジェットの侵入深さ L （同一ノズルではランスギャップ h ）が炉内反応の推移に大きく影響していることを示している。しかし L の効果は、送酸速度のように直接的に脱炭速度を決定するものではなく、Si, Mn, Feなどの酸化状況に影響することによつて、間接的に脱炭速度に影響しているとみなせよう。Si, Mnの酸化速度やFe酸化状況が L の大きな影響を受けること、さらにはスロッピングやスピツティングなど O_2 ジェットと浴との関係に著るしく L が関与することなどは、 L が火点反応域の状況を最も良く表わすパラメーターであることを示している。

では L が火点反応域の状況に如何なる変化を与え、反応を左右しているのであろうか。この設問に答えるには現段階ではなお精度高い実験事実および理論的な考察が不足しているし、 L が V_{O_2} の関数となつていることも解釈上の問題となつている。こゝでは1,2の仮説を提示するに止めたい。

- L の大小によつて反応域へ供給される鋼浴量が異なり、 L 小なるほど供給鋼浴量が少い。すなわち L が小なる場合反応域において FeO^* が、被酸化元素C, Si, Mn以上に生成し、常にスラグ層へかなりの(T,Fe)を供給し、供給された(T,Fe)の一部は間接脱炭に寄与する。
- L の大小によつて FeO^* がスラグ層に捕捉されるまでの時間に差があり、 L 小なるほどこの時間が短い。すなわち L が小なる場合には反応域の被酸化元素を十分酸化する前に FeO^* はスラグ層捕えられ(T,Fe)となる。
- 上記(a), (b)の両者の効果の混合したもの。

上記仮説のいづれによつてもCに対するSi, Mnの優先酸化およびFe酸化状況の L による差は、さらに次の機構を考えればある程度説明が可能と考えられる。すなわち1) 活性な FeO^* の存在の下ではある確率をもつてSi, Mnの酸化が起り、安定な SiO_2 - MnO - FeO 層を形成する、2) この層は O_2 ジェットの鋼浴への接触を防げ、かつCOの発生を著るしく抑圧する、3) 一方Si, Mnが浴になくなれば FeO^* はもはや安定化されず火点反応域での脱炭がはげしく進行する、4) Cがある程度下がると FeO^* はもはや十分消費されずスラグ層に移行するが、過剰の FeO^* は O_2 ジェットの鋼浴への接触を防げる、5) また(FeO)が十分高くなれば炉壁などでの間接脱炭が脱炭反応の主体となつていく。また吹錬初期ではかなり鋼浴温度が低く、反応域への鋼浴供給が必ずしも十分でないと考えられ、このことが酸素効率やSi, Mnの酸化に無視出来ない影響を与えている。

(3) スラグ量とその性質

こゝで行なつた解析ではスラグ量に大差のないヒートを取扱つており、送酸速度が一般に高いこともあつて、従来認められてきたスラグの脱炭阻害現象は明確でなかつた。しかし従来の研究結果からみてスラグの影響は無視出来ず、スラグは次のような機構のいずれかあるいは全てを通して、炉内反応に寄与していると考えらるべきではなからうか。

- (a) 通常の送酸速度の範囲では O_2 ジェットのスラグ面への到達を阻害し、さらに鋼浴攪拌の度を低下させる(実質的に L が小さくなる)。
- (b) スラグ量大なる場合反応域へのスラグのまき込みの機会が多く、 FeO を安定化してしまふ。
- (c) (FeO)を稀釈し、その活量を下げることによつて間接脱炭の度を低下させる。

6 まとめ

試験転炉による吹錬データを解析し、 Si, Mn の優先酸化や Fe の酸化にジェット侵入深さが大きな影響をおよぼすことを明らかにし、従来の解析結果をも含めて、送酸速度やスラグの影響などとともに L の炉内反応におよぼす効果について検討した。しかしながらまだ明解な炉内反応モデルを得るには到つておらず、今後に残された課題が多い。

文 献

- (1) 一戸, 山本, 長野, 宮村; 製鉄研究 才266号(1969) P.55
- (2) 一戸, 宮村, 長野, 山口; 鉄鋼協会九州支部討論会 (Jan.1969)
- (3) 手塚, 山口, 稲富; 鉄と鋼 56 (1970) S.72
- (4) 一戸他; 鉄鋼科学技術国際会議 (Sept.1970)
- (5) 島田, 石橋, 森瀬; 製鉄研究 才266号(1969) P.75
- (6) 例えば 染野, 後藤; 鉄と鋼 53 (1967) P.422

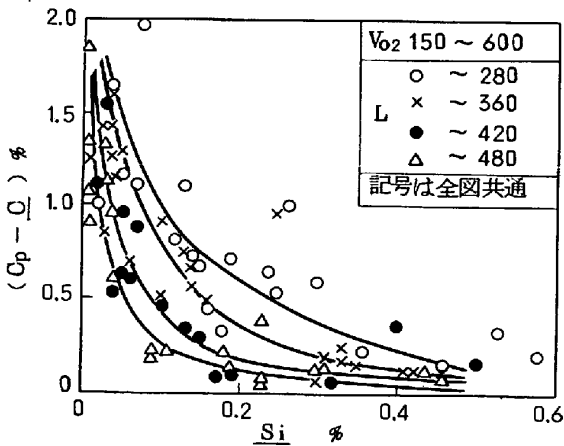


図1 Siの優先酸化

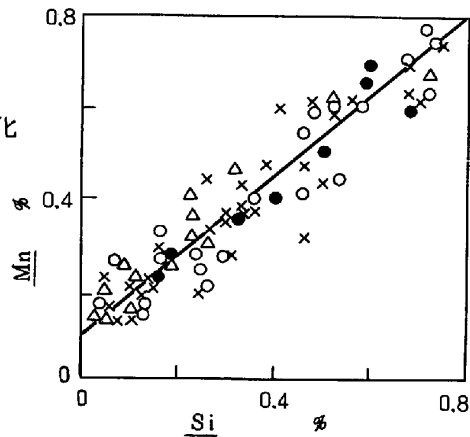


図2 Si, Mnの同時酸化

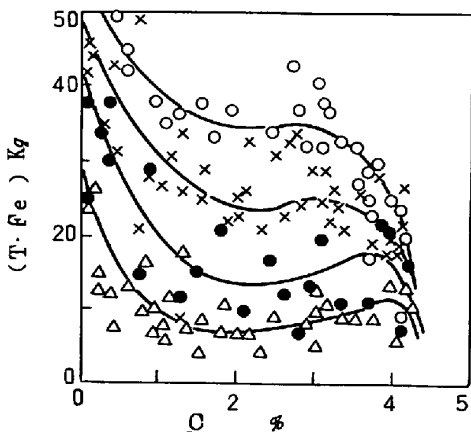


図3 T·Feの推移

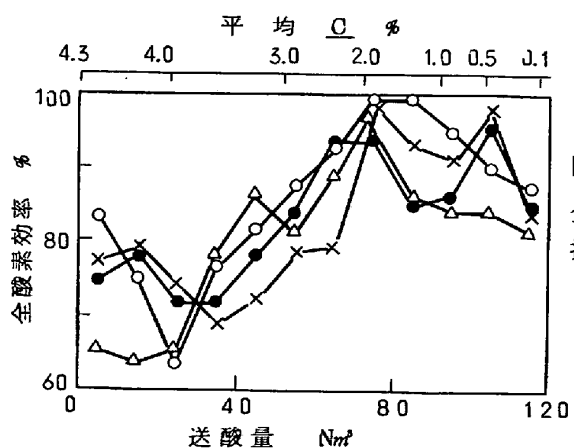


図4 全酸素効率推移