

森下 仁* 山田 純夫** 数土 文夫*** 馬田 一****

Optimum Refining Practice of Low Silicon, High Phosphorus Hot Metal in Q-BOP at Chiba Works

Hitoshi Morishita, Sumio Yamada, Fumio Sudo, Hajime Bada

要旨

上吹き転炉スラグ中の Fe, Mn, CaO, MgO 等の有用成分の回収のために、スラグを焼結原料に混入して高炉にリサイクルすると、溶銑中の燐が濃化する。しかし、脱燐能の高い底吹き転炉を用いれば、高燐銑でも精錬コストの上昇は少なく、リサイクルによる製造コストの削減が可能になる。一方、これらの有用成分の、底吹き転炉スラグ中への損失量低減のため、低 Si 溶銑に少量の副原料を加えて高塩基度精錬を行う方法を検討した。さらに、底吹き転炉による、予備処理溶銑のスラグレス精錬を試みたが、耐火物の損耗が激しく、この方法は不適当であった。千葉製鉄所では、リサイクルによる高燐溶銑の Si 濃度を、製銑・製鋼通算コストが最低になる 0.2% に調整し、底吹き転炉で少量のスラグによる精錬を行い、大幅にコストを低減している。

Synopsis:

Material saving of such useful components as Fe, Mn, CaO, MgO, etc., by recycling LD slag to a blast furnace (BF) as a raw material leads to a condensation of phosphorus in hot metal, resulting in an increase of refining cost in succeeding LD process. Q-BOP opens the way for the recycling with its high capability of dephosphorization. In addition, the influence of hot metal silicon content has been examined on ironmaking and steelmaking costs. The optimum silicon content of hot metal as low as 0.2% for Q-BOP refining with only a small amount of slag has minimized overall manufacturing, inclusive of recycling, cost in BF, LD and Q-BOP shops at Chiba Works. As a result, the amount of steelmaking waste slag has also been reduced. For further reduction of refining cost, slag-less blowing combined with the dephosphorization of hot metal has also been examined. Despite various advantages, refractory wear is too large to make slag-less blowing practicable.

1. 緒 言

昭和52年1月に千葉製鉄所第3製鋼工場において、230t底吹き転炉2基が稼動した。以来、底吹き転炉の精錬特性の解明¹⁾および種々の操業改善²⁾を積極的に進めてきた。その結果、転炉精錬における攪拌の有効性が再認識され、各種の上底吹き転炉技術の開発³⁻⁶⁾が促進された。

この底吹き転炉の優位性をさらに活用する手段として、最適溶銑成分の検討を進めた。その結果、製銑・製鋼通算コストを下げるためには、①上吹き転炉スラグ中の有価資源リサイクル、すなわちスラグの高炉原料への混入、によって生ずる高P溶銑を底吹き転炉で吹錬するプロセス⁷⁾、および②Si濃度を0.2%程度に低下させた低Si溶銑⁸⁾を底吹き転炉で使用するスラグミニマム操業が効果的であることを確認した。さらに、低Si溶銑の極限として、予備脱Si、脱燐処理を行った溶銑を用いるスラグレス吹錬の実験を行い、冶金特性、耐火物への影響について調査しその特徴を明らかにした。

2. 底吹き転炉精錬の特徴

底吹き転炉の精錬の特徴は、炉底羽口からの酸素の直接吹込みによる強力な攪拌と、粉体吹込みによる脱燐、脱硫反応の促進にある。攪拌力の評価基準として、鋼浴の均一混合時間 τ をとると、底吹き転炉の均一混合時間は、上吹き転炉の約1/10となる。酸化精錬炉の冶金特性を示す指標として次式でISCO

値⁹⁾ (Index for Selective Carbon Oxidation) を定義する。このISCO値は攪拌力と炉内CO分圧を組込んだパラメータである。

$$ISCO = \left(\frac{2q_{O_2}}{2q_{O_2} + 4q_{Pr}} \right) \left(\frac{q_{O_2}}{W/\tau} \right) \dots\dots\dots(1)$$

q_{O_2} : 酸素流量

q_{Pr} : プロパン流量

W : 溶鋼質量

ISCO値と脱炭末期での脱燐速度 $d(\%P)/d \log(\%C)$ の関係を Fig. 1 に、また、ISCO値とスラグ中の T.Fe の関係を Fig. 2 に示す。上吹き転炉と比べて底吹き転炉は、脱炭末期の脱燐速度が大きく、スラグ中の T.Fe が低いという現象が、ISCO値で統一的に説明される。すなわち底吹き転炉の特性は強い攪拌力

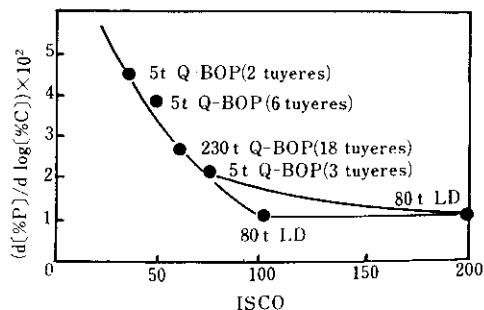


Fig. 1 Ratio of dephosphorization rate to decarburization rate as a function of ISCO

* 千葉製鉄所製鋼部製鋼技術室

*** 千葉製鉄所製鋼部製鋼技術室主査 (課長)

[昭和58年1月12日原稿受付]

** 千葉製鉄所製鋼部製鋼技術室主査 (掛長)

**** 千葉製鉄所製鋼部第3製鋼課掛長

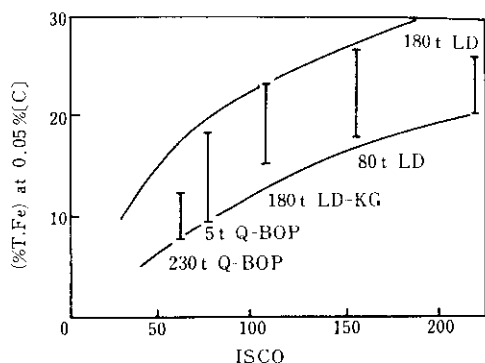


Fig. 2 (%T.Fe) in slag as a function of ISCO at 0.05% C

とCO分圧の低さに起因している。

炉底からの粉体吹込みは、底吹き転炉の第2の特徴である。脱磷能、脱硫能は、粉体吹込みによる反応界面積の増大および溶鋼との直接反応によって、上吹き転炉より高い。Fig. 3に、slag中のT.FeとP分配比の関係を示す。底吹き転炉はslag中のT.Feが低いという脱磷に不利な条件にもかかわらず、上吹き転炉より高いP分配比を示している。また、反応界面積増大の効果を示したのがFig. 4である。反応界面積の大きい細粒の方がP分配比は高い。

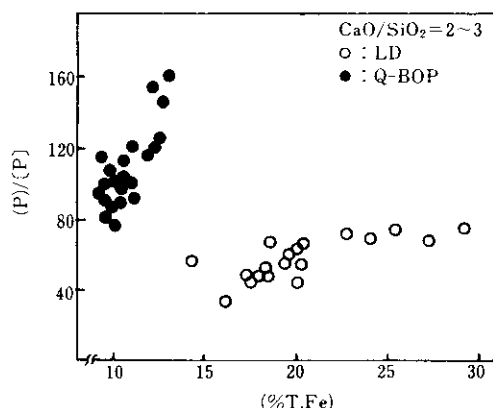


Fig. 3 Relation between $(P)/(P)$ and $(T.Fe)$ in comparison of Q-BOP and LD

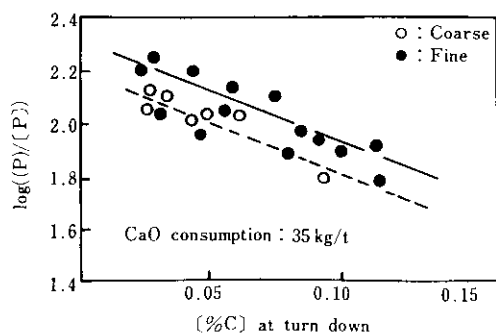


Fig. 4 Influence of lime powder size on dephosphorization

3. 転炉slagのリサイクルへの対応

高炉slagは、路盤材、セメント原料、あるいはアスファルト

ト骨材等の用途に活用されている。しかし、転炉slagは高塩基度で、膨張崩壊性を有しており、上記の用途には適さないため、製鉄所内の埋立て等にはしか使用されていない。しかし現在では、埋立て用地の減少により、転炉slagの処理が問題となり始めている。

また転炉slag中には、Fe、Mn、CaO、MgO等の有用な製鉄原料成分が含まれており、回収し有効利用することが望まれる。しかし、転炉slagを高炉用焼結原料としてリサイクルすると、溶鉄中の磷濃度の上昇が避けられず、製鋼での脱磷コストの上昇を招く。この磷濃度の高い溶鉄を低コストで精錬できれば、転炉slagの処理および有用資源の回収の面から大きなメリットを生ずる。Fig. 5に、底吹き転炉における、高磷溶鉄(P=0.3%)の吹練実験結果を示す¹⁰⁾。高磷溶鉄による精錬コストの上昇は、脱磷用生石灰原単位で評価できるが、底吹き転炉の場合、Fig. 5に示すように、溶鉄中の磷濃度の0.010%上昇に伴う生石灰原単位の増加は約0.39 kg/tであり、上吹き転炉の約1.20 kg/tの1/3である¹¹⁾。したがって、転炉slagのリサイクルによって溶鉄中の磷濃度が高くなっても、底吹き転炉で精錬すれば、鉄鋼トータルでメリットを生ずる(試算によれば、約5000円/t-slagのメリットとなる)。Fig. 6に千葉製鉄所におけるslag利用のフローを示す。Fe、Mnなどの有価金属の含有量が高く、 P_2O_5 濃度の低い上吹き転炉slagを焼結工場へリサイクルする。この結果生ずる高磷溶鉄は、もっぱら底吹き転炉で精錬し、生成する (P_2O_5) の高いslagを系外へ排出す

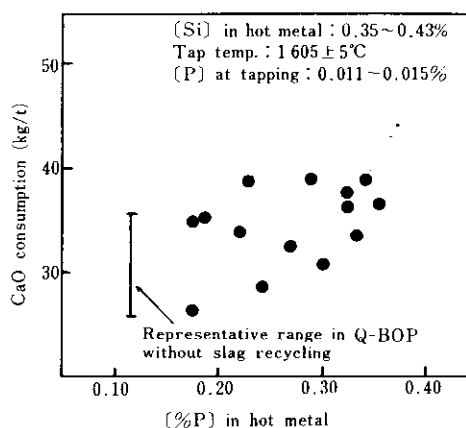


Fig. 5 Relation between phosphorus content of hot metal and lime consumption in Q-BOP

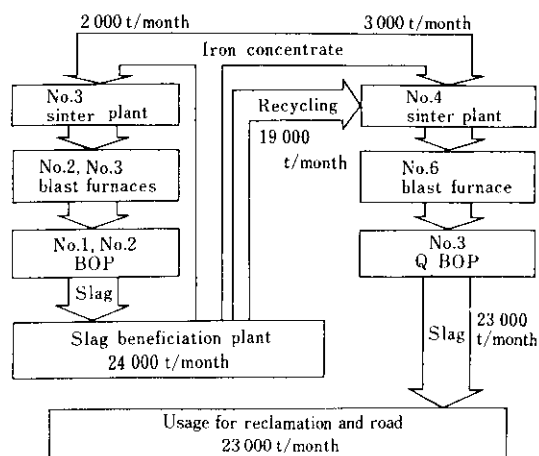


Fig. 6 Flow chart of converter slag at Chiba Works

る。現在のリサイクル量は19 000 t/month, 溶鉄中の磷濃度は0.14%, 底吹き転炉スラグ中の (P_2O_5) 濃度は4%を越えている。

4. 高P低Si溶鉄を用いた底吹き転炉操業

製鉄部門において燃料比を低減すると、必然的に溶鉄のSi含有量が低下する。転炉精錬にとっては熱源である溶鉄Siが低いと、溶鉄比が低い場合には、熱バランスがとれない。

また、最近の我国のような高溶鉄比操業でも、上吹き転炉で低Si溶鉄を用いた操業を行うと、スラグの流動性が悪化して脱磷反応が低下するので、スラグの流動性確保のために、螢石等の使用が必要となってくる。そのほか、スピittingの増加など、へい害が多く、溶鉄Siが0.30%以下に低下すると、製鋼部門ではコストアップ要因となっていた。

ところで、千葉製鉄所第6高炉では、ゴーストシステム¹²⁾による安定操業を背景に、出鉄Si濃度が0.2%の低Si操業技術を確立している⁹⁾。この低Si溶鉄を底吹き転炉で精錬し、以下の項目について調査した。

- (1) 生石灰原単位
- (2) 溶鋼歩留
- (3) 脱硫剤原単位

上記の3項目にそって評価すれば、低Si溶鉄を底吹き転炉で用いた時のコスト変動が分かる。これに製鉄部門でのコスト変動を加えると、鉄鋼トータルでコストが判明し、コストミニムとなる最適溶鉄Si濃度が決定する。

4.1 低Si溶鉄吹錬による高塩基度操業

転炉内反応に及ぼす塩基度 (CaO)/(SiO_2) の影響を、高Si溶鉄と低Si溶鉄操業の比較により明らかにする。低炭素リムド鋼を吹錬した時の塩基度とスラグ中のT.Feの関係をFig. 7に示す。スラグ中のT.Feは塩基度の増加に伴い上昇する。ここで低Si溶鉄操業時は、生石灰使用量を減少させているにもかかわらず、塩基度は4.0以上であり、スラグ中T.Feも高くなっている。

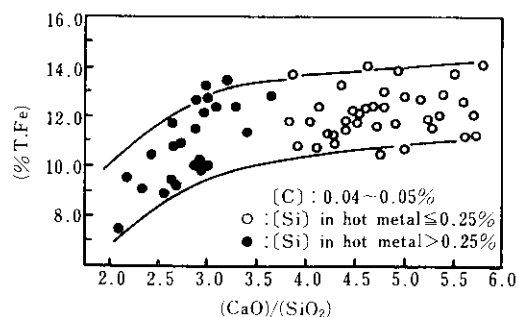


Fig. 7 Relation between (T.Fe) in slag and slag basicity in Q-BOP

4.1.1 脱磷反応

転炉内での脱磷反応を(2)式のように表すと、塩基度および(T.Fe)の上昇は、脱磷に有利に作用する。



すなわち、低Si溶鉄操業は、塩基度および(T.Fe)の点で脱磷に有利であり、Fig. 8に示すように高Si溶鉄操業に比べて、P

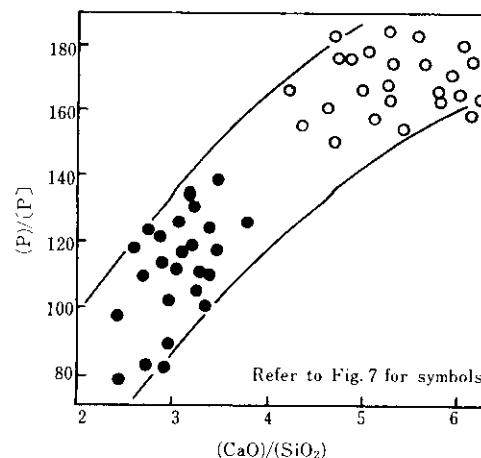


Fig. 8 Relation between phosphorus partition ratio and slag basicity in Q-BOP

分配比 (P)/(P) が大幅に向上している。

4.1.2 脱硫反応

脱硫反応は塩基度と強い相関があり、Fig. 9に示すように、高塩基度でS分配比、(S)/(S)、は高くなっている。この面でも、低Si溶鉄操業による高塩基度操業は脱硫に有利である。

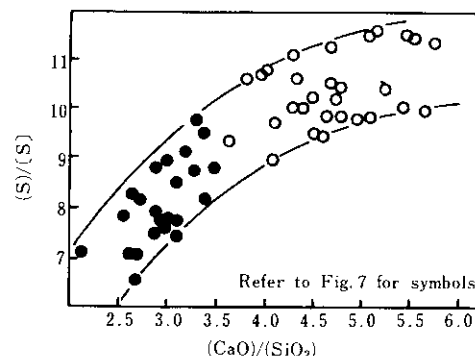
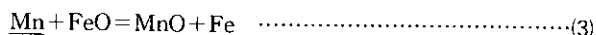


Fig. 9 Relation between sulfur partition ratio and slag basicity in Q-BOP

4.1.3 脱Mn反応

Mnの酸化は、(3)式で示すスラグ-メタル間の反応によって起こる。



転炉操業のように、塩基度の比較的高い条件下では、Mnの酸化量は(T.Fe)の増加に比例して増えると考えられる。塩基度と(T.Fe)の関係と同様に、塩基度とMn分配比、(MnO)/(Mn)、にもFig. 10に示す関係がある。すなわち、高塩基度操業による(T.Fe)の上昇により、Mnの酸化量が增大する。

4.2 連铸材における低Si溶鉄の脱磷吹錬

昭和56年4月に、底吹き転炉と直結した千葉製鉄所第3連铸機が稼動した。その結果、底吹き転炉における操業は以下のように変化した。

- (1) 造塊から連铸への切換により、出鋼温度の上昇が必要になった。
- (2) 主要鋼種が低炭素Alキルド鋼になり、出鋼C濃度の低下により、(T.Fe)が上昇した。

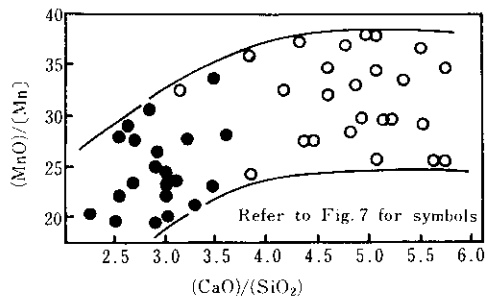


Fig. 10 Relation between manganese partition and slag basicity in Q-BOP

(3) 連铸用に、同一鋼種を連続して吹錬するために、前ヒートまでの吹錬状況が利用でき、吹錬の再現性が向上した。

Fig. 11 と 12 に連铸向け低炭素 Al キルド鋼吹錬時の塩基度と P 分配比の関係を、造塊向け低炭素リムド鋼吹錬の場合と比較して示す。連铸向け低炭素 Al キルド鋼の出鋼温度は、造塊材により 25℃ 高くなり、脱磷には不利であるが、出鋼 C 濃度の低下に伴う (T.Fe) の上昇により、全体としては脱磷に有利になった。この結果、生石灰原単位は造塊材より減少できる。

しかし、生石灰原単位を減らす操作を連続で行うと、Fig. 12 に示すようにスラグ中の (P₂O₅)、吹止め [P] はともに上昇していく傾向が認められた。この事実を、スラグコーティングにより、炉内のスラグ中に P が濃縮していくことを示している。濃縮を抑制し、常に安定した出鋼 [P] レベルを維持するために、Fig. 13 に示す生石灰使用パターンを採用した。一定数の吹錬ごとに、生石灰使用量を増して、炉内スラグ中の (P₂O₅)

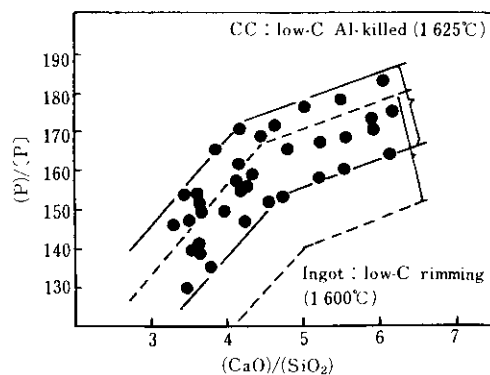


Fig. 11 Comparison of dephosphorization behavior in Q-BOP between two types of low-C steel

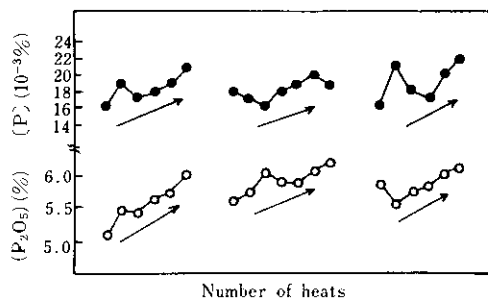


Fig. 12 Variation of [P] and (P₂O₅) at turn down in Q-BOP

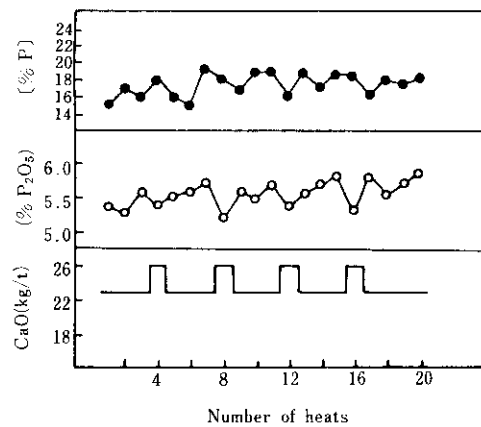


Fig. 13 Pattern of CaO consumption in Q-BOP variation of [P] and (P₂O₅) at turn down

を希釈することにより、連铸の間、安定した脱磷を保証しつつ、生石灰原単位を限界まで低減することが可能となった。

4.3 低 Si 溶銑吹錬の評価

低 Si 溶銑を用いた高塩基度操作における炉内反応について、スラグ-メタル間の分配比を用いて述べてきた。しかし、コスト評価にあたっては、溶銑中の不純物がスラグ中に移行する絶対量が問題である。すなわち、P, S, Mn について、吹止め成分に分配比とスラグ量を乗じた値を用いなければならない。スラグ量は、Fig. 14 に示す塩基度とスラグ中 (CaO) の関係から、CaO バランスにより算出した値を採用した。Table 1 に、溶銑の [Si] が 0.45% と 0.25% の場合の造塊向け低炭素リムド鋼の操作条件を示す。溶銑の [Si] が 0.2% 低下すると、生石灰+ドロマイトの原単位は溶鋼トン当り 8 kg 低減でき、スラグ発生量は約 30% 減少する。しかし、溶銑からスラグへ移行する P の量は、ほぼ等しい。この条件下では、S および Mn のスラグへの移行量も、P と同様にはほぼ等しい値となった。すなわち、低 Si 溶銑を用いた高塩基度操作において、吹止め [P] が高 Si 溶銑吹錬時と同等になるようにスラグ量を減らしても、S 分配比および Mn 分配比の上昇により、吹止め [S], [Mn] はほとんど変化しないことになる。したがって、低 Si 溶銑を用いる高塩基度操作の精錬コストの変動要素は、生石灰+ドロマイト原単位の減少と、溶銑の全熱量 (顕熱+反応熱) の減少、および溶銑中

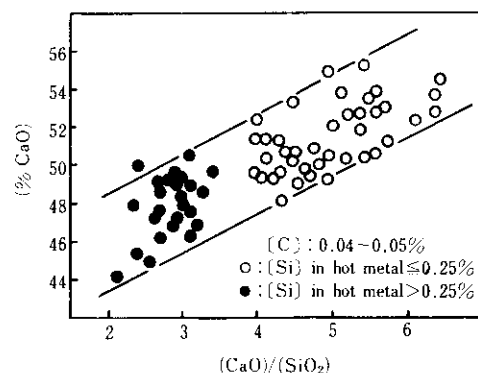


Fig. 14 Relation between slag basicity and (CaO) in Q-BOP

Table 1 Comparison of Q BOP operation between different silicon contents of hot metal

[Si] in hot metal	0.45%	0.25%
Consumption of lime and dolomitic lime	35 kg/t-steel	27 kg/t-steel
Basicity of slag	3	4.5
Amount of slag	68 kg/t-steel	48.2 kg/t-steel
(P)/[P]	115	160
(MnO)/[Mn]	25	32
(S)/[S]	8	10
Amount of phosphorus in slag ([P]=0.017%)	1.33 kg/t-steel	1.31 kg/t-steel
Amount of manganese in slag ([Mn]=0.10%)	1.7 kg/t-steel	1.5 kg/t-steel
Amount of sulfur in slag ([S]=0.015%)	0.08 kg/t-steel	0.08 kg/t-steel

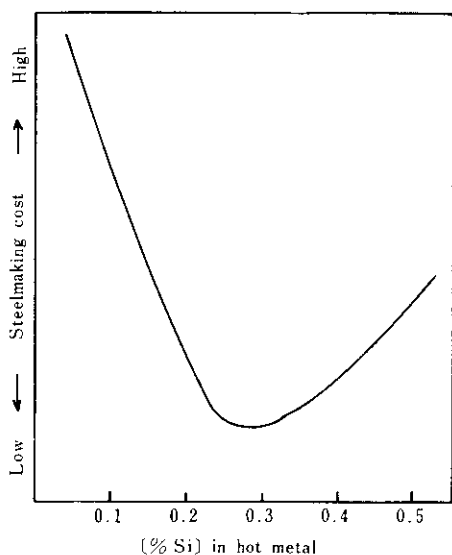
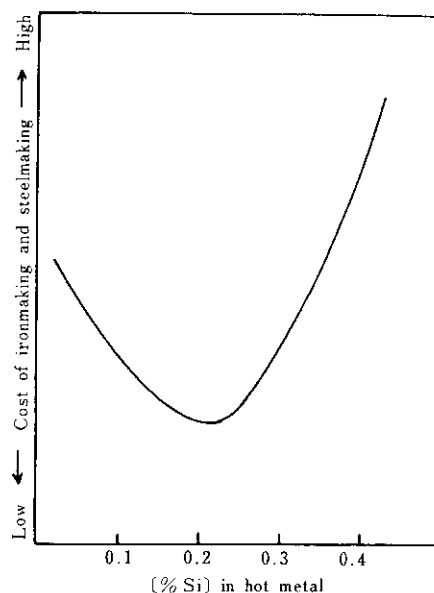
の [S] の上昇の 3 要素を考えれば良い。

溶鉄の全熱量の減少により、吹錬中の冷却材使用量（鉄鉱石等）が減少するために溶鋼歩留が低下する。しかし、低 Si 溶鉄の吹錬ではスラグ量が減少するために、スラグ顕熱として失われる熱量が減少し、その分だけ冷却材使用量は増加する。また、スラグ中の酸化鉄ロスおよび粒鉄ロスが減少する。したがって、溶鉄の低 Si 化による溶鋼歩留の低下は、溶鉄の全熱量の低下から計算する値より小さくなる。

一方、溶鉄中の [S] の上昇は、溶鉄脱硫コストを上昇させる。しかし、第 3 製鋼工場では吹込み方式の溶鉄脱硫剤を、従来のカーバイド系から安価な生石灰系に切替えてきた¹³⁾ため、溶鉄脱硫コスト増の負担は小さい。

以上の変動要因を考慮して、溶鉄の低 Si 化による製鋼コストの変化を Fig. 15 に示す。溶鉄の Si 濃度が 0.25% 以上では、生石灰原単位の増加が原因となって、製鋼コストは上昇する。また、0.25% 以下では溶鉄脱硫コストの急激な上昇により製鋼コストは上昇する。すなわち、底吹き転炉主体の製鋼部門では、溶鉄の [Si] が 0.25% でコストミニマムとなる。この製鋼コストの変動に製鉄コストの変動を加えた結果は、Fig. 16 に示すように溶鉄の [Si] が 0.20% のときにコストミニマムとなる。

以上の検討結果をもとに、千葉第 6 高炉と底吹き転炉（第 3

**Fig. 15** Influence of [Si] in hot metal on steel-making cost**Fig. 16** Influence of [Si] in hot metal on total cost of ironmaking and steelmaking

製鋼)間では、鉄鋼トータルのコストミニマムの溶鉄成分を、0.20% Si, 0.14% P に決定した。

5. 予備処理溶鉄を用いたスラグレス吹錬

上述の高 P, 低 Si 操業以上の鉄鋼トータルのコスト低減および製鋼スラグ発生量の減少を図るには、最近、各社で開発が急がれている溶鉄予備処理¹⁴⁻¹⁶⁾の適用を検討する必要がある。

千葉製鉄所においても、底吹き転炉、あるいは上底吹き転炉を用いた、生石灰による溶鉄予備処理技術を確立^{17,18)}し、極低 P 鋼溶製を実用化している¹⁹⁾。また、混鉄車内での予備処理溶鉄を用いて、ステンレス鋼等の特殊鋼の溶製を行い、大きなコスト低減を達成している。このように、特殊鋼については、溶鉄予備処理技術が効果的であるが、普通鋼に適用するためには、さらに詳細なコスト試算を行うことが必要である。転炉において、予備処理溶鉄を用いる時の究極の操業技術は、フラックスを使わないスラグレス吹錬であり、その検討を以下に行った。

5.1 実験方法

底吹き転炉は強撹拌力と粉体吹込み能力を有することから、溶鉄予備処理炉としても有効な反応容器である¹⁷⁾。底吹き転炉で脱 Si, 脱 P, 脱硫の予備処理を行った処理溶鉄を別の底吹き転炉に装入し、温度調整用の鉄鉱石以外、副原料を全く使用しないスラグレス吹錬を、炉内付着スラグの影響を受けないように、新炉を用いて行った。Fig. 17 に底吹き転炉におけるスラグレス吹錬実験のフローおよび溶鉄、溶鋼の成分、温度の推移を示す。この実験では、耐火物への影響も調べるため、10ヒートの連続吹錬を実施した。

5.2 炉内反応

スラグレス吹錬の成分挙動を、通常吹錬と比較して Fig. 18 に示す。通常吹錬では、吹錬初期および吹錬末期に脱 P, 脱 Mn が進行するのに対して、スラグレス吹錬では P あるいは Mn のようにスラグ-メタル反応によって反応が進む成分は、吹錬の全

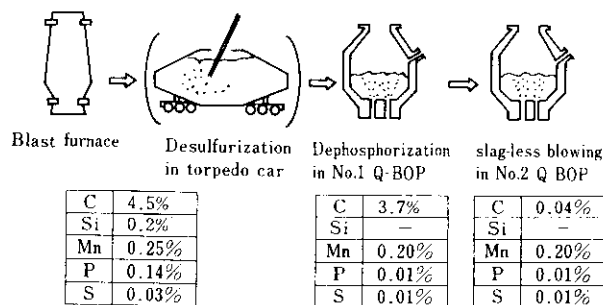


Fig. 17 Flow chart of slag-less blowing and change of chemical composition

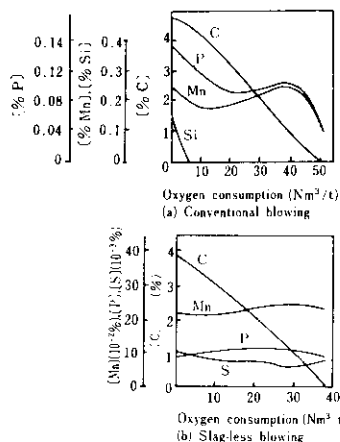


Fig. 18 Comparison of chemical composition change during different blowing methods

期間を通じてほとんど変化しない。スラグレス吹錬終了時の〔C〕と〔Mn〕の関係を Fig. 19 に示す。スラグレス吹錬でも〔C〕が低下したときはMnの酸化が起こるが、〔% C〕>0.06ではほとんどMnは酸化しない。通常吹錬と比べてMnの酸化損失が極めて少ないことは、スラグレス吹錬の大きな特徴である。

上吹き転炉におけるスラグレス吹錬では、スラグが鋼浴上に存在しないために、酸素が効率良く溶鋼と反応するので、酸素効率が高くなる²⁰⁾。一方、底吹き転炉の場合には、通常吹錬でも酸素効率は高いが、スラグレス吹錬ではスラグ中への鉄の酸化損失がほとんどないので、さらに酸素効率は高くなる。また、スラグレス吹錬では、スラグ中への鉄の酸化損失が少ないため、排ガス中のダスト量が若干増えても、鉄源歩留は通常吹錬より約1.0%高くなる。

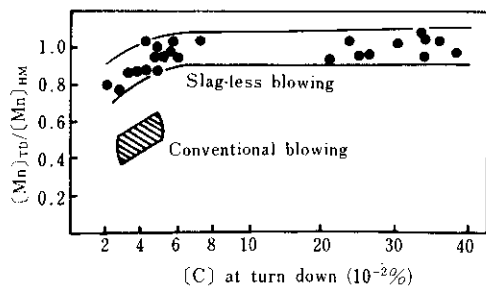


Fig. 19 Relation between {[C] at turn down} and {[Mn] at turn down/[Mn] in hot metal}

5.3 耐火物に及ぼすスラグレス吹錬の影響

スラグレス吹錬を正當に評価するには、耐火物の損耗も考慮に入れなければならない。

スラグレス吹錬後の炉内観察では、炉壁れんが、炉底れんがともにスポーリングによる剥落は認められなかった。また、Fig. 20 に示すように、レーザーを用いたれんがの損耗量測定によっても、±5 mmの測定誤差以上の変化は認められなかった。しかし、吹止め時に存在する少量のスラグ中には20~30%という高濃度の(MgO)が認められ、れんがの溶損が生じていることがわかった。スラグ重量の実測値に基づきMgO量を算出した結果によれば、約2 kg/tのれんがが溶出していることになる。この値は通常吹錬の値の約7倍であり、完全なスラグレス吹錬は、耐火物の観点からは、成り立たないと思われる。完全なスラグレス吹錬でなく、耐火物の損耗を防ぐために、副原料として6 kg/tの軽焼ドロマイトだけを吹錬開始と同時に投入すると、れんがの溶損が防止できた。すなわち、底吹き転炉の吹錬において副原料使用量には耐火物の溶損を防止するのに必要な最低量が存在し、脱磷だけで考えることは適当でない。したがって、溶銑予備処理においても、底吹き転炉において必要最低限の副原料を用いた時の脱磷能を考慮に入れて、処理終了での磷濃度を定める必要がある。このように底吹き転炉と溶銑予備処理との組合せにおいて、スラグレスでなく、スラグミニマムを狙ったプロセスが最も効果的であると考えられる。

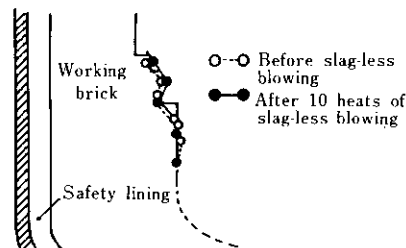


Fig. 20 Refractory wear during slag-less blowing measured by laser beam

6. 結 言

製鉄、製鋼トータルのコスト低減、あるいは、製鉄所全体からの製鋼スラグ発生量の減少という観点から、底吹き転炉用溶銑の最適成分について検討した。さらに発展したプロセスとして、溶銑予備処理技術とスラグレス吹錬の組合せについて検討し、以下の結果を得た。

(1) 底吹き転炉は強い攪拌力と粉体吹込みにより高い脱磷能を有し、上吹き転炉に比較して、高磷溶銑の吹錬に適している。この結果を基礎に、上吹き転炉スラグを底吹き転炉向け鉄用の高炉ヘリサイクルし、有価資源の回収および製鋼排出スラグ量の減少を達成した。

(2) 高溶銑配合操作における、底吹き転炉の最適溶銑〔Si〕を見出した。溶銑〔Si〕の低下は必然的に高塩基度操業につながり、底吹き転炉の粉体吹込みとの組合せにより大幅な生石灰原単位の低減をもたらした。しかし、溶銑〔Si〕があまりに下がり過ぎる

と、[S]の急上昇による溶銑脱硫コストの上昇をもたらす。底吹き転がし主体の製鋼部門では溶銑[Si]0.25%がコストミニマムであり、鉄鋼通算では0.20%がコストミニマムになる。

(3) 脱Si, 脱P, 脱Sを行った予備処理溶銑を用いた底吹き転がしによるスラグレス吹錬において、Mn酸化がほとんどない、鉄源歩留が高い、酸素効率が高い等のメリットを確認した。しか

し、耐火物の溶損は普通吹錬より約7倍と、極端に大きいことがわかった。この耐火物の損耗を防ぐためには、ドロマイト等の副原料の添加が効果的である。予備処理との組合せにおいては、転炉投入副原料による炉内脱Pも考慮して、溶銑予備処理での脱P量を設定すべきである。

参考文献

- 1) M. Saigusa, J. Nagai, F. Sudo, H. Bada and S. Yamada : Ironmaking and Steelmaking, **7** (1980) 5, 242
- 2) 熊谷正人, 内村良治, 岸高寿 : 川崎製鉄技報, **11**(1979)1, 132
- 3) a) 多賀雅之ら : 鉄と鋼, **65** (1979) 11, S675
b) 平原弘章, 吉田克磨ら : *ibid.*, S676
c) 平原弘章, 丸川雄浄ら : *ibid.*, S677
- 4) a) 甲斐幹, 平尾正純ら : 鉄と鋼, **66** (1980) 4, S233
b) 甲斐幹, 大河平和男ら : *ibid.*, S234
c) 甲斐幹, 中川一ら : *ibid.*, S235
- 5) a) 三枝誠, 今井卓雄ら : 鉄と鋼, **66** (1980) 4, S236
b) 山田博右, 柴山卓真ら : *ibid.*, S237
c) 鈴木健一郎, 岡野忍ら : *ibid.*, S238
d) 斉藤健志, 別所永康ら : *ibid.*, S239
- 6) a) 武英雄, 大岡秀志ら : 鉄と鋼, **66** (1980) 11, S878
b) 江本寛治, 大森尚ら : *ibid.*, S879
c) 山田博右, 鈴木健一郎 : *ibid.*, S880
d) 加藤嘉英, 中西恭二ら : *ibid.*, S881
- 7) M. Saigusa, S. Yamada and K. Oda : Proc. 1st. Process Conf., **1** (1980), 168
- 8) 梶谷暢男, 田中整司ら : 川崎製鉄技報, **13** (1981) 4, 557
- 9) 中西恭二, 加藤嘉英ら : 鉄と鋼, **64** (1978) 4, S169
- 10) 山田純夫, 数土文夫ら : 鉄と鋼, **65** (1979) 4, S198
- 11) 山西逸生, 平原弘章ら : 鉄と鋼, **64** (1978) 11, S569
- 12) 岡部俠児, 福武剛ら : 川崎製鉄技報, **11** (1979) 1, 34
- 13) 山田純夫, 数土文夫ら : 鉄と鋼, **65** (1979) 4, S153
- 14) 平原弘章, 丸川雄浄ら : 鉄と鋼, **64** (1978) 11, S639
- 15) 山本里見, 藤掛陽蔵ら : 鉄と鋼, **65** (1979) 4, S212
- 16) 梅沢一誠, 二杉恵造ら : 鉄と鋼, **66** (1980) 11, S729
- 17) a) 馬田一, 森下仁ら : 鉄と鋼, **66** (1980) 11, S730
b) 森下仁, 山中啓充ら : *ibid.*, S731
c) 竹内秀次, 仲村秀夫ら : *ibid.*, S732
- 18) 永井潤, 山本武美ら : 鉄と鋼, **67** (1981) 4, S268
- 19) 山田純夫, 川原田昭ら : 鉄と鋼, **66** (1980) 11, S733
- 20) 山本里見, 小久保一郎ら : 製鉄研究, (1979) 299, 52