

### 討 3 名古屋第1高炉の低Si操業について

新日本製鐵(株) 名古屋製鐵所 郷農雅之・岩月鋼治 野田多美夫 三輪 隆  
 本社 高城俊介 生産技術研究所 田村健二  
 基礎研究所 杉山 喬 佐藤裕二

#### 1. 緒言

製鉄所の脱オイル対策として、オールコークス操業が各所で実施されている。この操業は製鉄コストの低減に寄与する反面、操業安定化対策としての溶銑温度の上昇から銑中Siの上昇、製鋼コストの上昇に結びついているため溶銑Siの低減はオールコークス操業に於ける大きな課題となっている。名古屋第1高炉では、焼結鉱の粒度別装入により、操業の安定化、炉熱変動の抑制に努め、オイルカット前の低〔Si〕レベルを達成したので、その内容を報告する。

#### 2. 名古屋第1高炉の銑中Siの推移

名古屋第1高炉の操業推移をFig.1に示す。オイルを40 Kg/tp前後使用していたS55年5～7月頃は、月平均の溶銑温度も1500℃を切り、銑中Siも0.22%の低レベルを達成した月もあるが、以後、オイル・ミニマム操業へ向かうにつれて、徐々に溶銑温度、〔Si〕を上昇させていった。オールコークス操業へ移行したS56年5月前後では、溶銑温度1525℃、〔Si〕は0.50%台の高目となった。しかし、その後は、焼結鉱粒度別装入の技術向上により、操業を安定化し溶銑温度も下げられ、〔Si〕の低減を進めることができた。そしてS57年1月には、0.26%の〔Si〕を達成した。

#### 3. 低〔Si〕達成の要因について

〔Si〕濃度を決定する要因については、多数の報告がなされている<sup>1)~3)</sup>。それらに共通している要因は、熱力学的平衡を左右する要因である温度、CO分圧、SiO<sub>2</sub>活量であるが、特に温度の影響が大きく、Fig.2に示すように、実績の溶銑温度と銑中Siの相関係数は非常に大きい。そこで、名古屋1高炉では、〔Si〕低減のため溶銑温度の低減を主体に取り組んできた。

温度以外の要因についても、(1)~(3)式に示す、スラグ・メタル間の分配平衡に基づいて導いた田村らの銑中Si濃度推定式<sup>1)</sup>により解析したが、この式より求めた〔Si〕の推定値は、Fig.3に示したように相関係数が高く、推定精度が高いことを示している。結果は後述するように、この式で推定しても温度の影響が大きかった。

$$\ln[\text{Si}] + P \cdot [\text{Si}] + R = 0 \quad (1)$$

$$\text{ただし、} P = 9005/T - 4.076 \quad (2)$$

$$R = 0.5527[C] + 0.6471[\text{Mn}] + 71867/T + 2 \ln P_{\text{Co}} - \ln a_{\text{SiO}_2} - 47.87 \quad (3)$$

ここで、〔Si〕：銑中Si濃度(%), T：溶銑およびスラグの温度(K), [C]：銑中C濃度(%), [Mn]：銑中Mn濃度(%), P<sub>Co</sub>：スラグと溶

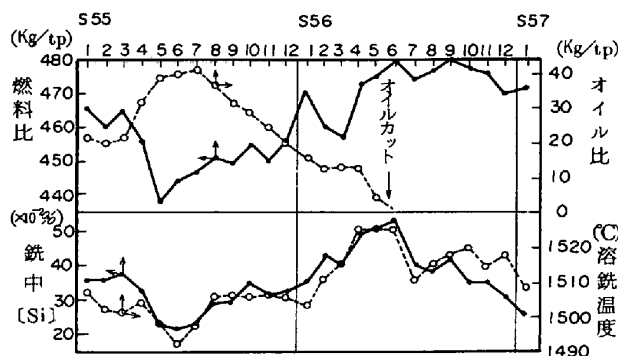


Fig. 1 名古屋1高炉の操業推移

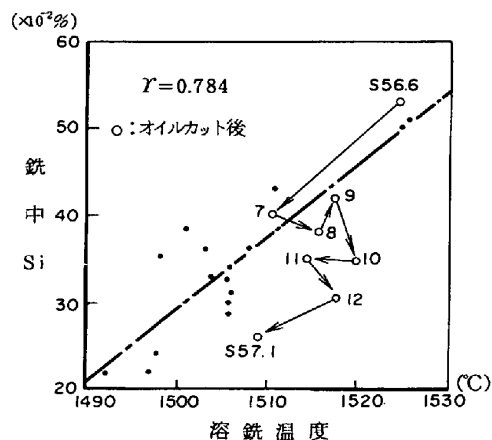


Fig. 2 溶銑温度と銑中Siの関係

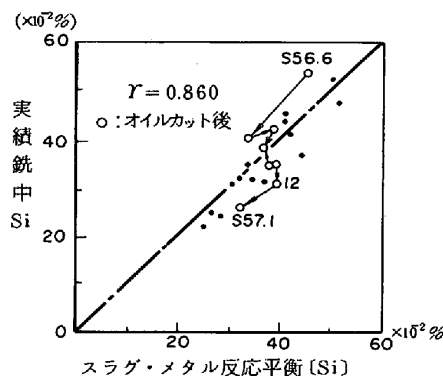


Fig. 3 スラグ・メタル反応平衡推定値<sup>1)</sup>と実績銑中Siの比較

鉄の界面におけるCOの分圧(atm),  $a_{SiO_2}$ :スラグ中のSiO<sub>2</sub>の活量(-)。

しかし、昭和56年6月~57年1月の[Si]の動きに注目すると、この期間の実績値が、0.27%低下しているのに対して、前述の式<sup>1)</sup>で求めた推定値は、0.13%しか低下していないことになる。

推定値と実績値の差異を解析するため、 $\Delta Si$ (=実績[Si]-推定[Si])に着目して高炉の操業要因との対応性を調査してみた。その結果は、Fig.4に示すように、重圧減風回数(操業の安定性を示す指数)が減少すると $\Delta Si$ は低下する。

また、Fig.5に示すように融着帯の平均的な高さに対応すると考えられるKitaevのHs<sup>4)</sup>が非常に大きい場合(融着帯が低い場合) $\Delta Si$ は負となっている。

これらのデータを参考にして、以下に[Si]の移行機構を検討した。

鉄中成分、スラグ組成、温度等が、高炉内の垂直断面は勿論、水平断面内でも非常に大きな差があることは、解体調査報告<sup>5)</sup>や、試験高炉の操業報告<sup>6)-7)</sup>からも容易に推察できるが、一例として、名古屋1高炉の解体調査結果をFig.6, Fig.7に示す。

これらの図からも明らかなように、滴下スラグやメタルが滴下してから炉外へ出るまでの温度履歴は、滴下経路によって大きく異なり、鉄中Si濃度に関するスラグ・メタル反応平衡値の分布も、炉内で大きなバラつきを持っているものと推察される。

また、Fig.6に示した温度分布、吹止前の送風圧力より求めたP<sub>co</sub>、解体調査サンプル分析値より求めた $a_{SiO_2}$ を用いて、田村らの式<sup>1)</sup>により推定した[Si]の分布はFig.7に示した調査結果と良く一致して

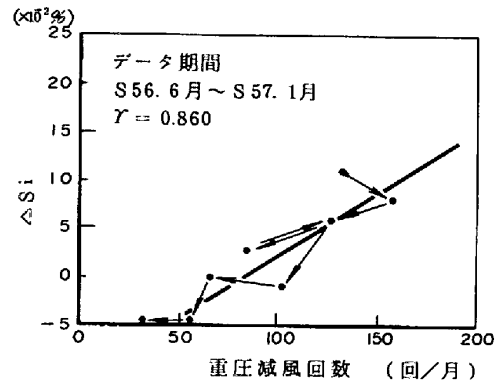


Fig.4 重圧減風回数と $\Delta Si$ (=実績[Si]-推定[Si])との関係

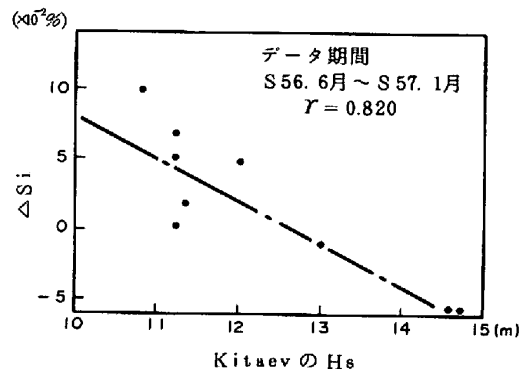


Fig.5 KitaevのHs<sup>4)</sup>と $\Delta Si$ (=実績[Si]-推定[Si])との関係

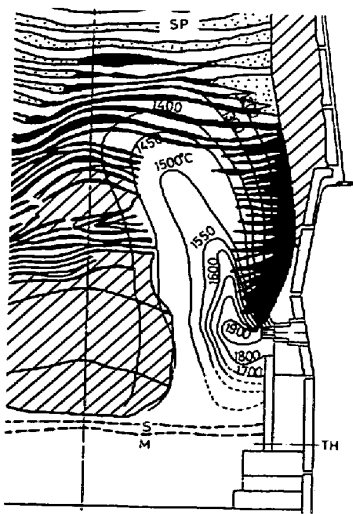


Fig.6 名古屋1高炉解体調査結果(温度分布)

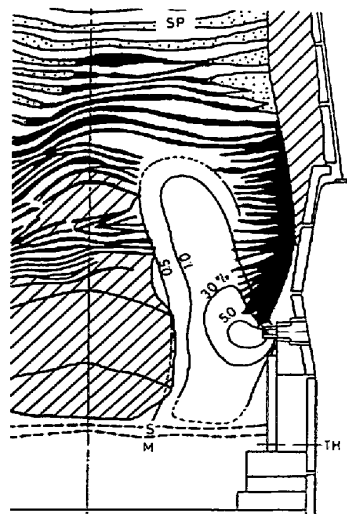


Fig.7 名古屋1高炉解体調査結果([Si]分布)

※:メタル中Siの分析はCMA<sup>9)</sup>による

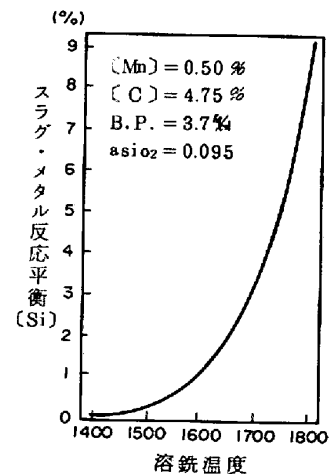


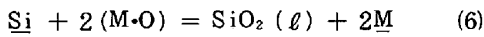
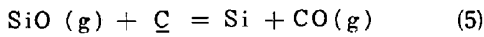
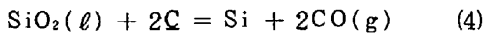
Fig.8 鉄中[Si]と温度の関係  
([Si]推定理論式<sup>1)</sup>の温度以外の変数は図中に示した値で一定と仮定して求めた)

いた<sup>8)</sup>。

前述の式<sup>1)</sup>で推定したスラグ・メタル反応平衡での銑中Si濃度が温度によってどのように変わるかを計算した一例をFig.8に示すが、温度の上昇とともに[Si]濃度は指数関数的に増大する。

従って滴下中の銑中Si濃度が、滴下経路のスラグ・メタル反応平衡の最大値に近づくと仮定すれば、出銑口を出た時点で、最終的に溶銑温度、スラグ組成が同じになっていても混合する前の溶銑温度のバラつき、混合比率等によってスラグ・メタル反応平衡値が大きく違ってくものと考えられる。(表1参照)

但し、滴下帯や炉床部では(4)式のスラグ・メタル反応の外にも、(5)式の加硅反応や、スラグ中の(FeO)や(MnO)等をO<sub>2</sub>源とする(6)式の脱硅反応も考えられる。



また、スラグ・メタル反応も、必ずしも平衡に達しているとは限らないので、今後、Si移行メカニズムについて更に説明していく必要があると考えている。

しかし、前述したように、マクロ的には、実績の銑中Si濃度は炉床でのスラグ

・メタル反応平衡値に近いことは事実である。また、実績値と平衡値(推定値)<sup>1)</sup>の差が高炉の操業状態によって左右されることも事実であり、操業状態を代表する指数が操業の安定性や融着帯高さを示すものである点を考え合わせると、滴下帯~炉床の炉内温度分布、滴下量分布、滴下時間が銑中Si濃度に影響することは間違いないと思われ、今後炉内でのこれらのプロセス変数を適確に検出する技術を確立してゆく必要がある。

以上の検討結果をまとめると、次のように整理される。

1) 銑中Si濃度は、田村らの式<sup>1)</sup>によるスラグ・メタル反応平衡値に近い。

実績の銑中Si濃度は、溶銑温度を用いて推算したスラグ・メタル反応平衡値より大きい場合も小さい場合もあるが、

2) 大きい場合は、荷下り、風圧等も不安定な炉況のときで、融着帯高さも高く、相対的に、加硅反応が

表1 ある温度範囲を持つ溶銑、スラグが混合する場合の温度範囲と平均[Si]の関係

温度範囲	1550℃	1500~1600℃	1450~1650℃	1400~1700℃
平均[Si]	0.53%	0.63%	0.71%	0.91%

Fig.8に示した条件下で、各温度の溶銑は平衡[Si]に達していると仮定し、かつある温度範囲で、均一な重量分布を持つ溶銑が混合して、平均1550℃の溶銑になる場合の計算例。

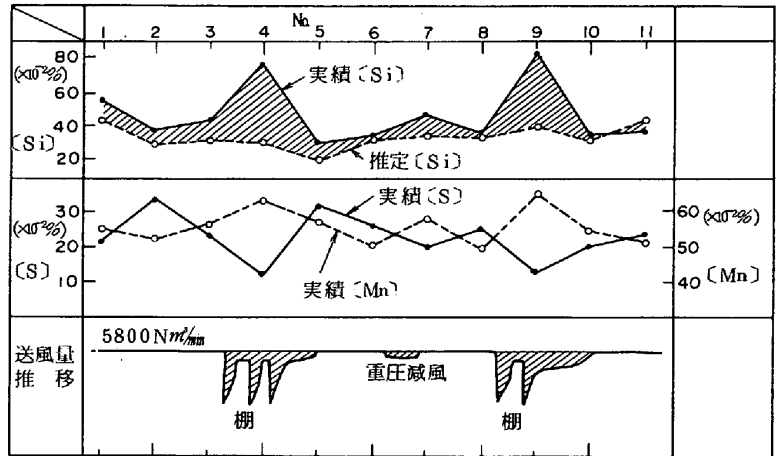


Fig.9 炉況変動と[Si]の動き

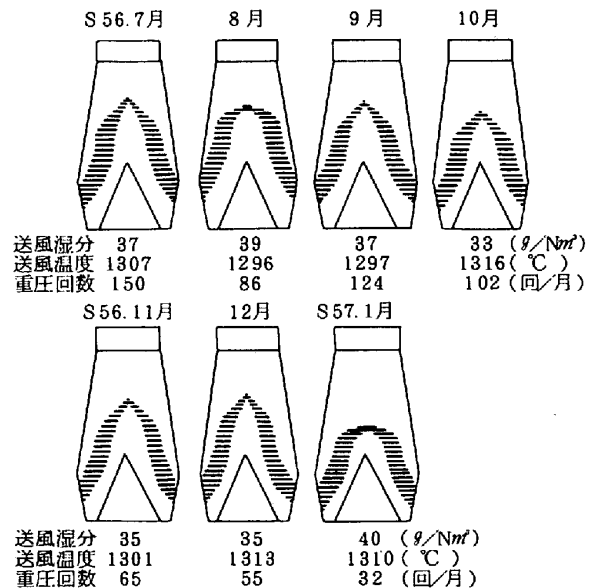


Fig.10 静圧モデルによる推定融着帯パターンの推移

起こり易く、部分的にSi濃度の高い溶銑が生じやすいと推定される。

3) 小さい場合は、融着帯高さが低く、安定している炉況のときで、相対的に加硅反応が起こりにくく、平衡値に達していないと推定される。

炉況不安定時にSi濃度が上昇する事例を Fig.9 に示した。炉況不安定時にSi濃度が上昇する理由としては、羽口直上の高温域でのコークス等の停滞に伴う滴下物の温度の局部的な上昇と、滞留時間の増大、風量変化による滴下物流路変化

などが考えられる。

4. 炉況安定化と低融着帯操業

実操業における低[Si]化のポイントは、Fig.11に示すように、従来から言われているスラグ・メタル反応平衡理論値を下げるような操業条件を整えることその他に、操業の安定化が非常に重要なポイントになる。

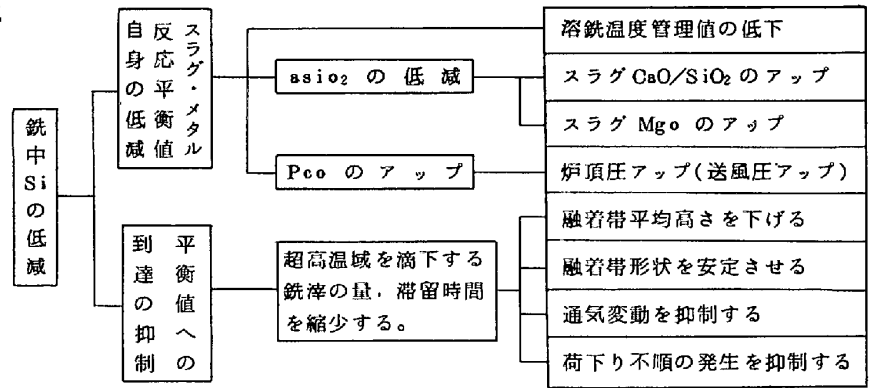


Fig.11 低Si化のための高炉操業のポイント

名古屋1高炉で、低[Si]操業を達成できたのは、焼結鉱粒度別装入技術の確立により、低融着帯、低溶銑温度条件下での安定操業が継続できたことが、大きな要因と考えられる。

焼結鉱粒度別装入の基本的な考え方については、既に報告されている<sup>10)</sup>ので、特に詳述しないが、融着帯形状推定モデル<sup>11)</sup>によって推定した融着帯形状の変化を、操業状況とともに Fig.10に示した。

融着帯形状自体についても、昭和57年1月の低頂層が目立っているが、送風条件、重圧減風回数、荷下り指数についても影響の大きいことがうかがえる。即ち、昭和56年7~9月のように、荷下り、通気変動の多いときは、レースウェイ形状、融着帯形状も変動し、荷下り停滞時はフレーム温度上昇により炉内温度勾配が大きくなるため、滴下物の受ける温度履歴の範囲も拡がり、滞留時間も相対的に長くなり、[Si]が上昇したと推定される。

5. 結言

新日鐵名古屋第1高炉では、昭和57年1月、オールコークス操業で0.26%の低[Si]を達成した。その要因については、従来より指摘されている溶銑温度、SiO<sub>2</sub>活量、炉内圧力の他に、焼結鉱粒度別装入技術を駆使した操業の安定、融着帯の低位安定化が大きく寄与していると考えている。

文 献

- 1) 田村, 斧, 西田: 鉄と鋼, 67(1981) P.2635
- 2) 槌谷, 徳田, 大谷: 鉄と鋼, 58(1972) P.1927
- 3) 槌谷, 田口, 高田, 岡部: 鉄と鋼, 63(1977) P.1791
- 4) B.J.Kitaev, Yu.G.Yarashenko and V.D.Suchov: Heat Exchange in Shaft Furnace. (1967), [The Pergamon Press]
- 5) 佐々木, 斧, 鈴木, 奥野, 吉沢, 中村: 鉄と鋼, 62(1976) P.559
- 6) 館, 鈴木, 李, 桑野, 張, 呉, 松崎, 中村: 鉄と鋼, 62(1976) P.483
- 7) 館ら: 試験溶銑炉第29次操業報告書
- 8) 杉山, 佐藤: 日本鉄鋼協会第104回講演大会発表予定, 1982
- 9) 田口, 浜田, 佐藤: 鉄と鋼, 68(1982) S.77
- 10) 須沢, 三国, 奥野, 原, 今井, 高城: 鉄と鋼, 68(1982) A5
- 11) 加瀬, 須賀田, 山口: 鉄と鋼, 66(1980) P.1928