

論 文

UDC 669.162.267.4.012.3

高 炉 の 低 燃 料 比 操 業*

飯塚元彦**・岸本純幸**・渋谷悌二***・福島 勤****

Low Fuel Rate Operation of a Blast Furnace

Motohiko IIZUKA, Sumiyuki KISHIMOTO, Teiji SHIBUYA, and Tsutomu FUKUSHIMA

Synopsis :

For further decrease of fuel consumption of a blast furnace, which was considerably closed to a lower limitation under a present operational condition, following two additional studies to traditional improvements have been carried out;

- (1) An advanced control technique of burden distribution at a furnace throat to achieve a stable furnace condition and an ideal gas utilization, and
- (2) an operational technique to decrease Si-content and temperature of hot metal without any troublesome using high MgO containing sinter.

These technique were applied to Fukuyama No. 3 BF (inner volume : 3 223 m³) in order to approach to the minimum fuel consumption under a practical operational condition. 428.2 kg/t-hot metal of a monthly fuel ratio was recorded in January 1979. Not only the increase of gas utilization but also the decrease of heat output in melting zone contributed to achieve this low fuel ratio.

405 kg/t-hot metal was estimated as a lower limitation of fuel ratio, which might be achieved in near future under a practical operational condition in Nippon Kokan, from the above results.

1. 結 言

1973 年の石油危機に端を発するエネルギー事情の悪化とその後の長期経済不況により、高炉操業は出鉄比優先から、燃料比重視の方向へ変わった。その結果、ここ数年間の燃料比の低下は目ざましく、1979 年は日本全国平均値で 460 kg/t-銑鉄の水準に達している。また、高炉の理論的研究によるプロセス理論、解体調査による炉内現象の理解も進歩し、燃料比の解析、低減の具体的な方向の示唆もなされるにいたっている。すなわち高炉の原料処理設備および操業技術の高度化により、炉況は安定し、A. RIST²⁾ による理想状態への到達試験、さらに積極的な燃料比決定条件の改善検討が可能な状態になって来た。

筆者らは、これらを勘案し、実操業技術の観点から燃料比低減策を検討した。また操業技術の集約として、福山 3 高炉 (内容積 3 223 m³) において、燃料比の限界について試験し、月間平均燃料比 428.2 kg/t-銑鉄を記録した。その結果を解析し、今後の燃料比低減対策方向と

当面の条件をベースとした限界を検討した。

2. 燃料比低減の考え方

2.1 高炉の機能と燃料比

高炉の燃料比に関する理論的検討は、従来多くの報告^{3)~5)}がなされている。中でも A. RIST およびフランス鉄鋼共同研究所 (IRSID) の研究者ら²⁾によるいわゆる Rist モデルは、高炉の高さ方向を熱移動、還元反応の特性から分割し、物質および熱収支の関係を明解に 1 つのグラフ化を行つている。また、最近研野ら⁶⁾は、移動速度論を導入した数学的モデルを作成し限界燃料比の検討を行つている。このモデルは、基本的に一定温度の熱保存帯の存在を前提とし、しかも下部の反応速度の扱いにはまだ確立していない点の多いことを考えると十分なものとは言えない。

Fig. 1 に福山製鉄所第 3 高炉 (福山 3 高炉) の操業結果の 3 例を上記のグラフ化で示した。詳細は 5.2 節で説明するが、与えられた操業条件における燃料比の低減策は、図から (1) シャフト効率の上昇すなわち操業線 (直

* 昭和 55 年 5 月 28 日受付 (Received May 28, 1980)

** 日本鋼管(株)福山製鉄所 (Fukuyama Works, Nippon Kokan K. K.)

*** 日本鋼管(株)京浜製鉄所 (Keihin Works, Nippon Kokan K. K.)

**** 日本鋼管(株)技術研究所 (Technical Research Center, Nippon Kokan K. K., 1-1 Minamiwatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210)

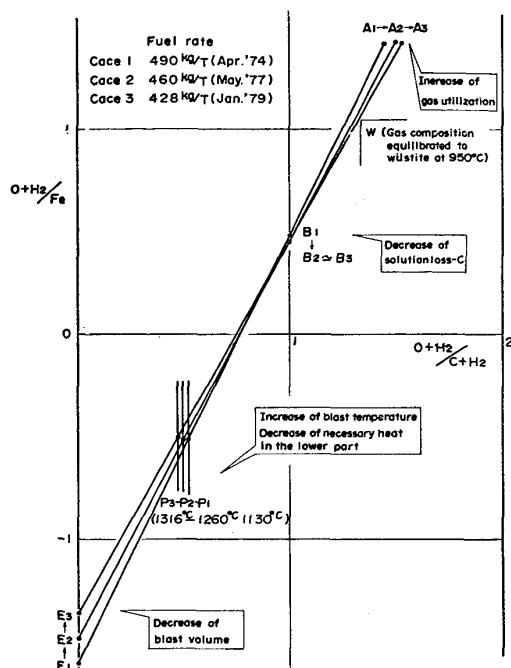


Fig. 1. Comparison of operation results.
(Fukuyama 3BF)

線 AE) とW点を近づけることがあげられる。また、(2)送風温度の上昇、(3)銑鉄の持ち出す熱量(顕熱、潜熱を含む…Fig. 1ではこの熱量に関する線分を省略している)の低減、(4)炉体熱損失の低減が代表的である。さらに工業的要素として、(5)炉況の安定化、(6)設備稼働の安定化がそれらに加えられる。

(1)のシャフト効率の向上は、シャフト部における還元ガスの利用率を理想状態、すなわち間接、直接還元の割合を理想的な比率に近づけることで、銑石類の還元性をよくすることと、ガス流れとFe分布の割合($\text{CO} + \text{CO}_2/\text{Fe}$)が炉径方向で均一なことが望まれる。これは塊状層における銑石およびコークスの通気性を考慮するとOre/Cokeの分布を均一にすることになる。一方炉壁耐火物の保護、炉体熱損失の低減面からは、炉壁部のガス流れをややおさえた方がよい。また中心のガス流を多少強くした方が、炉況の安定性がよいことが従来から経験されている。すなわち、最適装入物分布の考え方には、上記(1)と(4)、(5)と矛盾する面があり、両者のかね合いから決める必要がある。

(2)の銑鉄の持ち出し熱量の低減は、銑鉄成分のSi, Mnなどの低減、出銑滓温度の低下が有効である。このためには、Siの移行反応を抑制する銑石層の溶け落ち性状の改善が必要で、それは換言すれば銑石類の高温性状の改善、スラグの組成と流動性の管理である。

このような考え方から、燃料比低減の具体的技術方向

は以下の4項目に集約することができる。

- ① 分布制御管理技術の確立……特に中心部と炉壁部のみでなく中間も含めた緻密な分布制御
- ② 原料の品質安定化および高温性状のすぐれた焼結銑製造技術の確立
- ③ 炉況変化の早期発見および対策技術の強化(主に計測技術の開発、拡充)
- ④ 設備能力の有効な活用と保全管理の徹底

2.2 設備面からの対策

1) 設備能力の改善

積極的な設備増強および能力の有効活用の面で、特に効果のあがつたものは、①脱湿設備の導入、②高温熱風炉設備とその操業、③羽口耐火物リングの導入による熱損失の低減などがあげられる。

脱湿設備は、多湿期の大気中湿分を除去して燃料比の上昇をおさえ、年間平均大気湿分 12 g/Nm^3 を 6 g/Nm^3 まで低下させた場合燃料比は $4 \sim 5 \text{ kg/t}$ -銑鉄低下できる。この他、安定操業面でも有効で、効果をあげている。

1300°C 以上の高温送風は、蓄熱れんがの形状、材質の改善のほか、操業面でもスタカードパラレル方式、混合冷風弁閉塞操業の採用および計算機による燃焼管理強化により実現している。Fig. 1にも高温送風の効果があらわれている。

2) 稼働率向上対策

炉況・設備の不安定性は、非正常な燃料の追増をきたし、平均燃料比の大きな上昇要因となる。日本鋼管、福山製鉄所における1974年以降の高炉稼働率推移をFig. 2に示した。

羽口溶損事故の低減が、高炉稼働率向上に最も効き、大幅な稼働率改善がなされている。溶損対策として、2重羽口、先端部の水流速上昇(例えば $5 \rightarrow 16 \text{ m/s}$)、コー

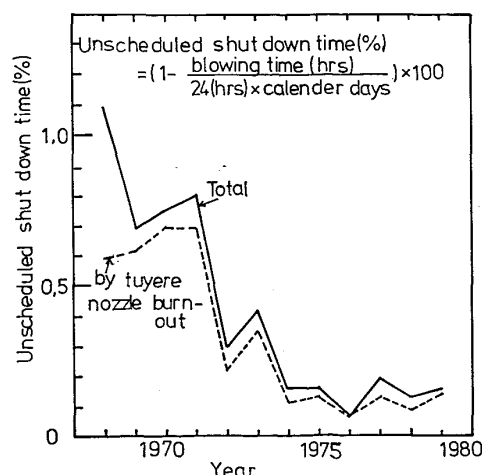


Fig. 2. Decrease of unscheduled shut down time.

ティング、スパイラル羽口など設備面からの対策と炉内下部のガス流れ分布の管理強化など操業面からの対策が向上につながっている。特に扇島1高炉で採用した高流速スパイラル式2重羽口は、火入れ以来3年を経過した現在でも溶損事故は皆無で、羽口溶損対策はほぼ解決したと考えるにいたっている。

もう1つの大きな要因である冷却亟、クーリングステープなどの炉体冷却関係についても、通水方式など技術改善により減風回数が減少し、安定した操業が維持されるようになった。

3. 原料性状の改善

3.1 品質の安定化

焼結鉱・ペレットなどの処理鉱配合率が高い程、高炉の操業安定化と低燃料比が達成される⁶⁾。その効果は高配合になる程減少する上、原料の需給、設備事情から、福山製鉄所では焼結鉱配合率を75~80%としている。

この条件下では、原料面からの低燃料比対策として、鉱石類特に配合率の多い焼結鉱の品質・性状の安定化が重要な要素である。焼結鉱の品質変動をベッディング粉パイル間とパイル内で比較すると、タンブラ強度は0.1%:1.4%, RDIは0.6:1.7と明らかにパイル内の変動が大きく、化学成分も例えばSiO₂の場合0.04%:0.08%と大きい。このパイル内の変動を極力小さくすることが焼結鉱品質安定化の重要なポイントとして、福山製鉄所では、

① 計算機システムの増強

本船ロード別管理,

B粉成分の実績修正のリアルタイム化,

② ベッディング方法の改善

ベッディング層数増,

大量使用銘柄のロード数増,

同時積付基準の管理強化,

特殊銘柄荷切れ時の積付停止

などの対策を実施し、成分の安定化を計り得た⁷⁾。

3.2 MgO 高配合焼結鉱の性状改善

3.2.1 MgO 高配合焼結鉱の性状

銑鉄の持ち出し熱量の低減(低Si%, 出銑温度の低下)を実現するには、5.1節で述べるように鉱石類の高温性状すなわち、荷重軟化性状および溶け落ち性状の改善が肝要である。この改善方向としては、(1)軟化性状は可能な限り軟化開始から、溶け落ちまでの温度幅が狭く、圧損が小さいこと、(2)溶け落ち時は、メタルとスラグがよく混合し⁸⁾、脱硫などスラグ-メタル間の反応が

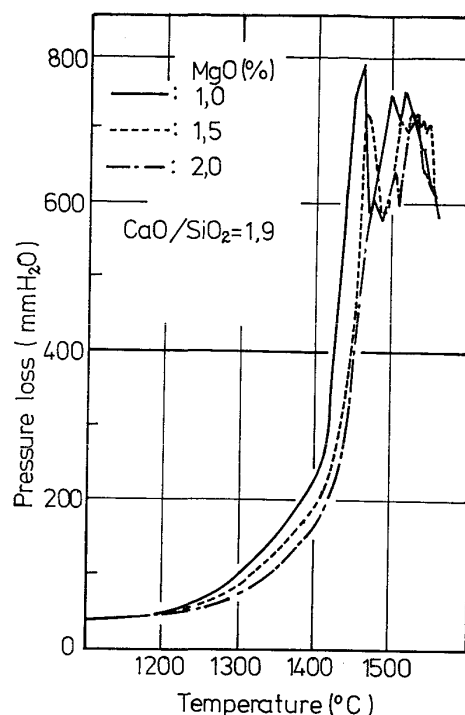


Fig. 3. Softening behavior of MgO added sinter under road test.

よく進行し、一方浸炭、SiO との反応を抑制すること、(3)性状改善として添加した成分は炉床部でのスラグの流動性を改善することとした。これにはMgOの添加を注目し、種々の検討を行った。

(1) 軟化性状:

塩基度およびSiO₂量一定の条件でMgO含有量を蛇紋岩によつて変えた鍋試験焼結鉱サンプルの荷重軟化試験結果をFig. 3に示した。軟化開始温度として圧損が100 mm H₂Oになる温度を採用すると、MgOが1%では1290°C、2%では1330°Cと上昇している。また、滴下開始温度も同様に40~50°C高温側へずれ、高炉内では、溶融帯が下部に移動することが期待される。

(2) 溶け落ち挙動:

一般に塩基度を高くして軟化性状を改善する場合、塩基度1.6~1.7付近でスラグとメタルが同時に滴下するようになるとともに、滴下温度が最も高い。さらに塩基度をあげるとスラグとメタルが分離して溶け落ち、メタルの滴下温度が低くなる⁹⁾。このメタルの滴下温度の変化は、スラグの浸炭速度に対する影響によるものと考えられている。しかし、MgOを添加した場合、顕微鏡組織観察によると軟化帯での脈石の凝集が少なく、滴下時も脈石がよく分散してスラグ-メタルの分離が少ない傾向を示す⁸⁾。急冷高炉の解体調査で溶融帯から採取した試料からも、MgOが脈石類の凝集を防げる挙動をしているのが観察されている。したがって、MgOによるメ

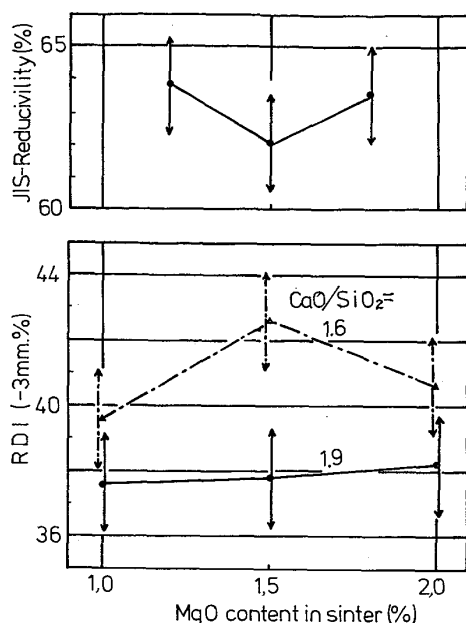


Fig. 4. Relation of RDI & JIS-Reducibility to MgO content in sinter.

タル中スラグの凝集を防げる作用はメタル滴下温度の上昇とメタル-スラグ間反応の促進の効果が推察される。

(3) 被還元性および還元粉化性：

高炉シャフト部の挙動として重要な被還元性および還元粉化性 (RDI) について、MgO 添加の影響を Fig. 4 に一例として示した。JIS の被還元性および RDI ともほとんど変化はなく、MgO 添加の効果は本質的にはなく、むしろ低下せぬよう焼成方法の管理を強化する必要があると考えられる。

以上より、MgO 添加により焼結鉱の高温性状特に溶け落ち性状の改善を計り、炉況の安定化および低 Si 操業の有力な手段とすることとした。

3.2.2 実機における MgO 高配合操業

福山製鉄所において、蛇紋岩とドロマイトを用いて、MgO 添加操業試験を行つた。ドロマイトを用いた場合には、熱補償のため粉コークスを多量に増加させる必要があり、さらに強度維持からも生産性を大幅に下げざるを得なかつた。そこで、MgO 添加は蛇紋岩を用いることとし、さらに増配合操業試験を行つた。その結果、MgO 1.8% 以上では、粉コークス原単位の上昇が顕著となることから、1.7~1.8%MgO で操業し種々の性状を改善することとした。

4. 分布制御技術

4.1 模型実験からの知見

現在の高炉操業技術はかなり高度なレベルに達しており、例えば Fig. 1 に示した例でもシャフト効率は 93~

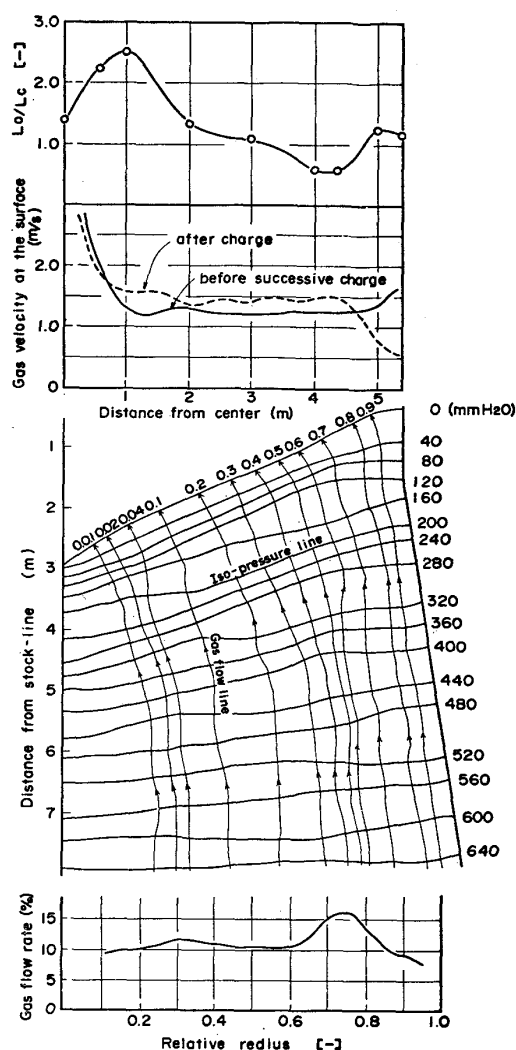
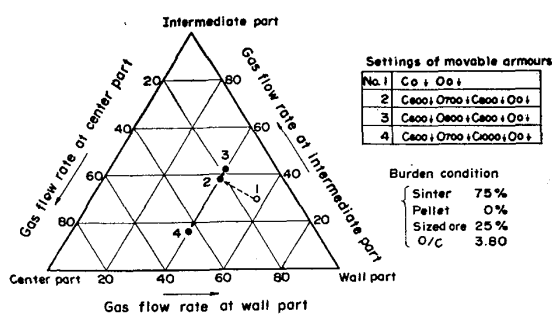


Fig. 5. Estimation of gas distribution through the shaft. (Model experiment)

95% に達している。その改善には、かなり緻密な精度の高い制御技術の確立が必要である。すなわち、分布制御技術の確立には、詳細な調査、測定 of 可能な模型実験と実炉における下部の挙動も含めた経験的実績による検討の双方が必要である。模型実験は、実高炉と対応した定量的情報を得ようとする、どうしても実物大の模型が必要で、しかも①実炉と同様な粒子の運動、分布挙動となる装入設備および炉口部の構造、②炉口ガスの運動エネルギーが実炉と等しくなる送風設備、③ストックラインの降下挙動をシミュレートできるシャフト部と切り出し装置を具備することが肝要である。これらを勘案した福山 5 高炉の実物大 1/10 分割扇形模型を日本鋼管(株)技術研究所に設置し¹⁰⁾、実炉における試験・測定と対応させて分布制御技術の確立を計つた。

Fig. 5 に模型による実験結果の一例を示す¹¹⁾。シャフトの平均的なガス流量分布は、層頂部 (ストックライ



(C : coke, O : ore, suffix : armour position from wall in mm.)

Fig. 6. Effect of movable armours on the gas flow through the shaft.

ン)の分布と大きく異なり、また Ore/Coke の分布とも完全に対応していない。これは、装入時の粒度偏析や、混合層の形成によるため、その傾向を把握することが重要である。Fig. 6は、1バッチ装入法におけるムーバブルアーマーの効果を炉口断面を径方向に面積的に3等分した各領域内を流れるガス量の変化で表示したものである。アーマーを最も壁側に寄せた No. 1 のケースは、壁側領域のガス量割合が平均値 33.3% に対し 57% と多いが、No. 2, No. 3 のようにアーマーを炉内に出すと壁側のガス流れが抑制され、さらにコークスに対しアーマーを炉内に強く出す No. 4 のケースは中心部のガス流れが増加している。

本実験により明らかにされたムーバブルアーマーの特性を総括すると、コークスに対する効き方は、鉱石に対するよりも大きく、炉壁近傍のガス流量制御に有効である。一方鉱石に対しては、径方向全体にわたって分布調査ができ、両者の組み合わせによつて、周辺部、中間部および中心部の Ore/Coke を適正に制御することが可能である。

装入方法として、2バッチ同時装入と1バッチごと装入があるが、双方ともアーマーの設定くふうにより均一化が計られ、分布調整能力面で本質的な差はないと言えるが、緻密な分布調整には後者の方が有利と考えられる点もある。

4.2 実炉における分布制御

日本鋼管における実炉の分布制御手段は、操業度や原料構成を大幅に変える場合を除いて、ムーバブルアーマー操作を主体とし、ストックラインの上下は周辺ガス流量の微調整に適することから補助的手段として併用している。また分布制御の思考体系を Fig. 7 のごとく構成している。

シャフト部における分布については、装入物分布測定装置および水平ゾンデにより、分布の良否、分布調整の効果の把握を行うが、炉下部については、センサーはま

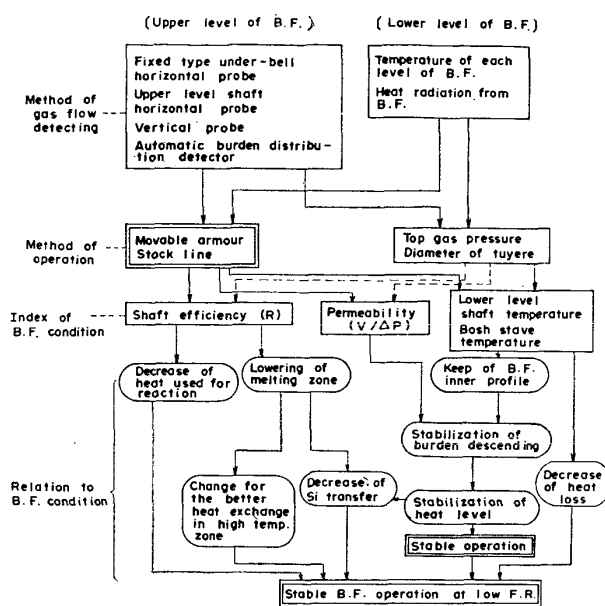


Fig. 7. Fundamental philosophy of gas flow control.

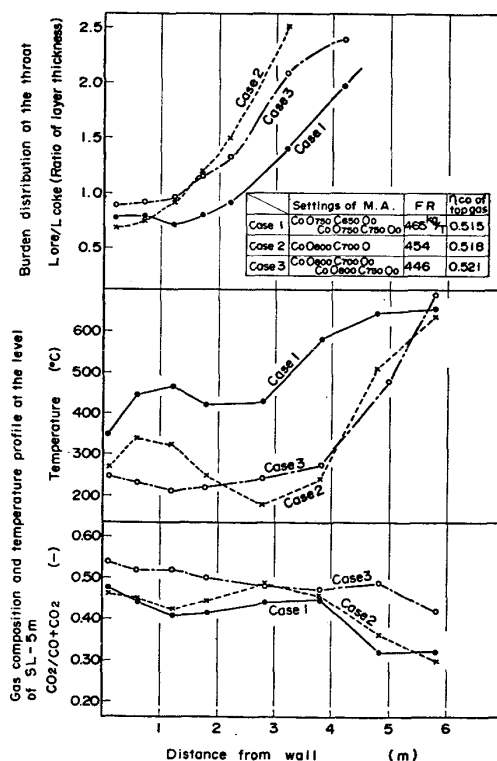


Fig. 8. Typical patterns of burden and gas distribution at various furnace conditions.

だ開発段階である。従つて、操業では炉内温度プロフィールを維持し、安定な荷下がりを保証するためにシャフト下段温度および朝顔部のクーリングステープ埋め込み温度に経験的な管理幅を設け、分布操作を行う。

Fig. 8は、炉口部の Ore/Coke 分布とシャフト上部の温度およびガス成分分布の例を示す。中間部から炉周

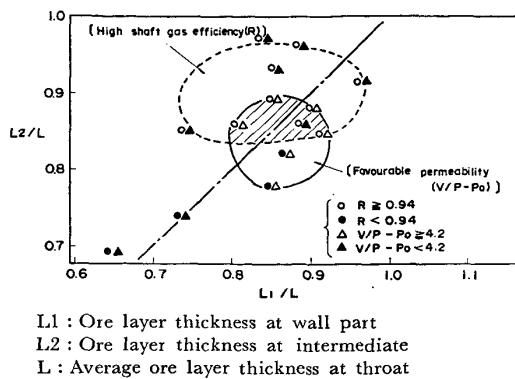


Fig. 9. The optimum burden distribution.
(Fukuyama 3BF)

辺部にかけて適量の鉱石が存在し、温度分布パターンが逆L字型で、中心の立ちあがり部が小さくなった時、平均的なガス利用率は向上する。しかし、この分布は、Fig. 9に示すように、通気性を高い水準に維持し得る分布とは必ずしも一致しない。すなわち、2.1節で述べたシャフト効率の向上と炉況安定との矛盾点であり、結局は経験的に図中斜線で示した部分を目標分布制御範囲とし、さらに緻密な制御、原料性状の改善などによりシャフト効率を向上させる分布へ経験的に改善する。

5. 低燃料比操業

5.1 低Si操業

5.1.1 操業結果

低Si操業は最近の積極的な燃料比低減には不可欠な技術として注目されている。溶銑へのSiの移行は主にSiOを介することを考慮し、(1)焼結鉱のMgO配合増による滴下帯高さの降下、(2)重油比の上昇、コークス灰分の低減、(3)高圧操業によるCO分圧の上昇、(4)スラグ塩基度、(MgO)%の上昇によるシリカ活量の低下、さらに(5)炉況の安定化などを条件要因として可能な範囲で操作し、製鋼作業側との関連から $\text{Si} \approx 0.3\%$ を一応のめどとして低Si化を計った。

結果は、Si%と焼結鉱のMgO%との相関が顕著に見られ、重回帰分析によるとスラグ塩基度、CO分圧、溶銑温度などにも相関が認められた。これらの相関関係を用いて、出銑温度 1510°C 、塩基度1.23を基準にSi%を補正すると、補正Si% (Si cl%)と焼結鉱中MgO%の関係はFig. 10のようになる。すなわち、寄与率は大きく与えられた原料条件の範囲内では、焼結鉱中MgO%の調整をベースとし、ついでスラグの塩基度、重油比、炉頂圧、出銑温度の調整を許容範囲内で組み合わせるのが、Si%低下操業として有効である。

5.1.2 MgO高配合焼結鉱の効果

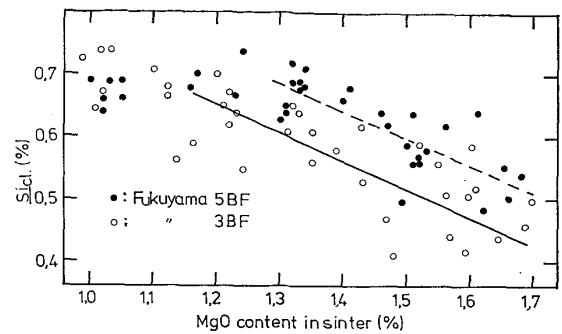
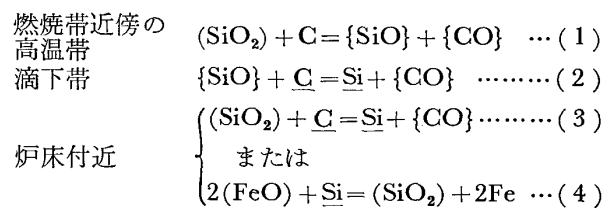


Fig. 10. Relation between calibrated Si content in hot metal and MgO content in sinter.

溶銑へのSiの移行は、下記の反応が考えられる。



炉床付近のスラグ中(FeO)%の正確な把握ができないことから、スラグ-メタル間のSiに関する反応は酸化・還元のいずれの方向か明確になっていない。

一応(3)式に着目し、出銑滓の条件から平衡Si%を算出し、実績Si%と対比すると、平衡Si%の低くなる条件では実績Si%も低くなる傾向が見られるが、MgO添加焼結鉱使用時とそれ以外の時とその傾向が異なっていた。従つて、MgO添加焼結鉱の効果は炉床付近のスラグ-メタル反応以外にもあると考えるのが妥当である。

3.1節で述べたMgO添加焼結鉱の溶融開始温度の上昇による滴下帯高さの降下は、(2)式の反応を抑制することが考えられ¹²⁾、その効果について、以下に示す大胆な仮定をおき、滴下帯高さの相対的变化とSi%の関係を検討した。

滴下帯の高さは、滴下帯を円筒状の均一な液およびガス流れ分布をした向流熱交換帯と仮定すると、E. SHÜRMANNら¹³⁾は、高さの推定式として次式を提示している。

$$h_{3f1} = \frac{\ln \{ \Delta t_F / \Delta t_s \cdot V_{f1} \}}{k_{3f1} \cdot B / \gamma_{Bf1} \cdot (1/W_B - 1/W_G)} \quad \dots (5)$$

ただし、 h_{3f1} : 平均滴下帯高さ (m)

k_{3f1} : 滴下帯の総括熱移動係数 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)

B : 装入物重量 (kg/t -銑鉄)

γ_{Bf1} : 滴下帯における装入物の充填密度 (kg/m^3)

Δt_F : 滴下帯下端における装入物とガスの温度差 ($^\circ\text{C}$)

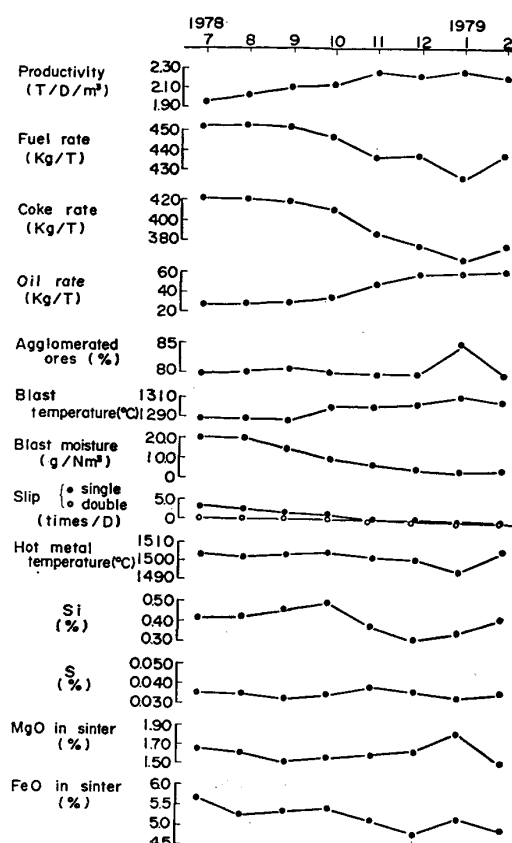


Fig. 12. Transition of Fukuyama 3BF operation.

いた。すなわち、中心の一部を残し、全体に Ore/Coke の分布が均一に広がり、また熔融帯が降下し、塊状帯が大きくなっている。これに加えて、焼結鉱の被還元性、重油比の上昇による水素還元の効果もあり、Table 2, Fig. 1 にそれまでのデータと比較して、熱バランスおよび Rist ダイアグラムを示した。シャフト効率が向上し、ソリューションロス反応熱が低下し、分布改善の効果が表れている。

また、燃料比とソリューションロスカーボン量について

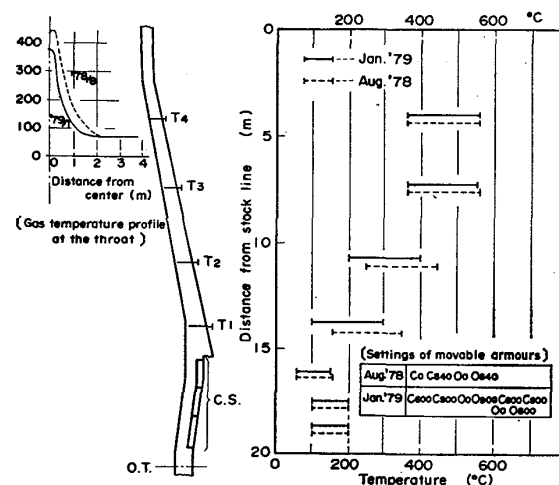


Fig. 13. Change of shaft wall temperature. (Fukuyama 3BF)

Table 2. Comparison of thermal balance. (Fukuyama 3BF)

			Aug. 1978		Jan. 1979		Difference	
			$\times 10^3 \text{ Kcal/T}$	(%)	$\times 10^3 \text{ Kcal/T}$	(%)	$\times 10^3 \text{ Kcal/T}$	
Input	Combustion heat of C at tuyeres		545.8	49.2	542.5	50.4	-	3.3
	Sensible heat of blast	Blast	438.0	39.4	427.5	39.7	-	10.5
		Moisture	14.5	1.3	4.1	0.4	-	10.4
		Oil	1.4	0.1	3.5	0.3	+	2.1
	Sensible heat of burden		7.9	0.7	1.8	0.2	-	6.1
	Reduction heat by CO		59.4	5.4	53.5	4.9	-	5.9
Output	Slag formation heat		43.9	3.9	44.0	4.1	+	0.6
	Total		1110.4	100.0	1076.9	100.0	-	33.5
	Sensible heat of metal and slag		448.8	40.4	450.8	41.9	+	2.0
	Reaction heat of C - solution		320.4	28.9	295.3	27.4	-	25.1
	Reduction heat of Si, Mn, P		34.2	3.1	29.4	2.7	-	4.8
	Reduction heat by H ₂		9.1	0.8	18.1	1.7	+	9.0
	Decomposition heat of oil		13.4	1.2	27.7	2.6	+	14.3
	Decomposition heat of moisture		33.7	3.0	9.4	0.9	-	24.3
	Evaporation heat of moisture in the burden		12.9	1.2	12.2	1.1	-	0.7
	Sensible heat of top gas		57.3	5.1	54.0	5.0	-	3.3
	Heat loss and others		180.6	16.3	180.0	16.7	-	0.6
	Total		1110.4	100.0	1076.9	100.0	-	33.5

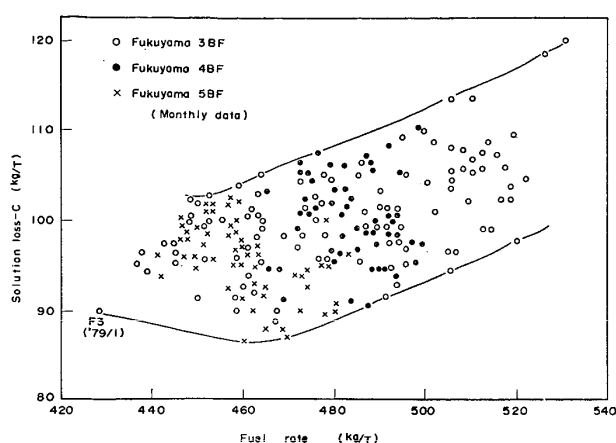


Fig. 14. Relation between solution loss-C and fuel rate.

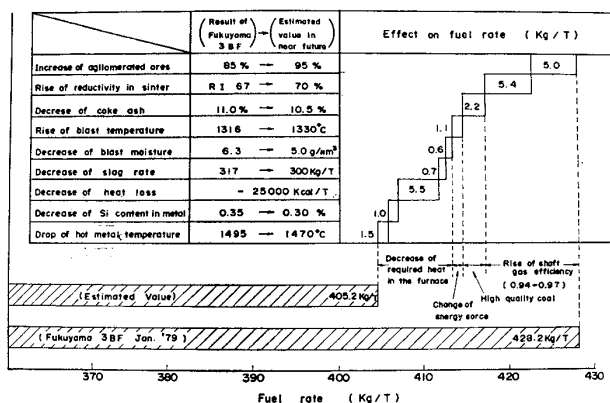


Fig. 15. Estimation of the limited fuel rate.

て、従来の実績を整理すると Fig. 14 のようになる。燃料比の低下に伴ってソリューションロスカーボン量も減少しているが、約 460 kg/t-銑鉄以下では 90~100 kg/t-銑鉄程度で横ばいに近くなっている。すなわち、近年の燃料比低下は、炉下部の熱収支の改善によるところが大きく、本場合も、Fig. 1 の P 点の挙動から、送風温度上昇、低 Si、低出銑温度、低送風湿分、下部熱損失の低減が、かなり寄与している。

今後実操業で到達し得る燃料比について、日本鋼管の原料需給計画、設備、製鋼作業などの制約から本 3 高炉の結果をベースに検討すると、除湿の徹底 (5 g/Nm³ 以下)、熱損失の低減、出銑温度の低下に期待するところが大きく、Fig. 15 に示すように 405 kg/t-銑鉄となる。すなわち、操業面では、分布の改善によるシャフト効率の向上は上限にほぼ近づいており、改善幅が小さくなっている。従って、銑鉄の持ち出し熱量の低減技術に対し、積極的に取り組まねばならない。シャフト効率の問題は、熱保存帯の温度が 950~1000°C 付近となる現在の鉱石類およびコークスの物理・化学的性質を大幅に変え、熱保存帯の温度を低くする (熱流比を大、ガス利

用率の向上) ことの可能性を解明し、鉱石類、コークスの性質改善の方向を見出す段階に戻る必要がある。

6. 結 言

高炉の燃料比低減技術と、生産条件をベースとする限界燃料比到達試験の結果を検討した。

(1) 燃料比低減策として、操業面から①シャフト効率向上、ソリューションロスカーボン量の低減、炉況の安定化を計る装入物分布制御技術を検討し、周辺、中間、中心の分布を制御するムーバブルアーマー使用技術、ガス利用率と通気性を要因とする分布管理技術を確立した。また、②銑鉄の持ち出し熱量 (例えば温度、Si %) 低減策として、MgO 高配合焼結銑使用を基調とする低 Si 操業技術を確立した。Si % の低下には、MgO 添加焼結銑の滴下開始温度の上昇、脈石の混合分布滴下が効いているものと推察された。

(2) 低燃料比操業は、福山 3 高炉で上記操業技術をベースに、可能な範囲で処理銑配合増 (85.4%)、重油比上昇を行って、月間平均 428.2 kg/t-銑鉄を達成した。この燃料比低減には、装入物分布の改善によるソリューションロスカーボン量低下の他に、下部の必要熱量の低減、すなわち Si %, 出銑温度、送風湿分の低下および熱損失の低減が効いていた。

(3) 今後低減し得る燃料比の限界として、福山 3 高炉の結果および原料需給、設備事情をベースに 405 kg/t-銑鉄が推算された。その主な要因は、出銑の持ち出し熱、炉体損失熱の低減と除湿送風の徹底による。

文 献

- 1) 中村直人: 第59・60回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) p. 8
- 2) A. RIST and N. MEYSSON: Rev. Metall., Fev. (1964), p. 121
- 3) E. SCHÜRMANN and D. BÜLTER: Stahl u. Eisen, 81 (1961) 24, p. 1565
- 4) 中谷文忠, 向井哲也, 中村文夫: 鉄と鋼, 52 (1956) 6, p. 923
- 5) 研野雄二, 須賀田正泰, 山口一良: 鉄と鋼, 65 (1979) 10, p. 1544
- 6) 日本鋼管(株)福山製鉄所: 第53回製鉄部会資料, 鉄 53-19-共
- 7) 日本鋼管(株)福山製鉄所: 第54回製鉄部会資料, 鉄54-19-自
- 8) 鈴木驥一委員提出: 学振54委資料, 本委-1506
- 9) 斧 勝也, 山口一良, 重見彰利, 西田信直, 神原健二郎: 鉄と鋼, 65 (1979) 5, p. 505
- 10) 樋口正昭, 斎藤 汎, 下間照男, 西尾浩明, 有山達郎: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S86
- 11) 西尾浩明, 有山達郎, 丹羽康夫, 山口 篤, 脇元一政: 鉄と鋼, 56 (1979) 11, S87
- 12) 槌谷暢男, 徳田昌則, 大谷正康: 鉄と鋼, 58 (1972) 14, p.1927
- 13) E. SCHÜRMANN, K. MATTHEIS, and D. BÜLTER: Arch. Eisenhüttenw., 46 (1975) 3, p. 195