

討 1 省オイル操業における技術的問題点と代替燃料使用技術の現状

川崎製鉄(株) 本 社 ○高橋洋光
 技術研究所 国分春生
 千葉製鉄所 久保秀穂

昭和48年以来の第1次・第2次石油危機により石油系エネルギー価格が急騰した。この結果、石炭系エネルギー価格に較べ石油系エネルギー価格は割安であるというこれまでの状況から一挙に逆転し、かなり割高な価格体系に変った。製鉄所の70%ものエネルギーを消費する製鉄部門は省エネルギーが急務になると同時にコスト低減を目的としたエネルギー転換すなわち、オイルレス化を志向するに至った。高炉の省オイルの操業としては、オール・コークスが一般的であるが、タール吹込、微粉炭の吹込、タール石炭スラリー吹込及び完全なオイル・レスとは言えないが重油・石炭スラリー吹込みなど重油に代る燃料吹込が一部の高炉で採用されてきている。以下、高炉オイル・レス操業について日本における最近の状況を概括してみる。

1. 高炉の省オイル操業

高炉における省オイルの方策としては、次のようにまとめられる。

1. オール・コークス操業
2. 液体燃料吹込み：タール、石炭重油スラリー（COM）、石炭タールスラリー（TCM）
3. 粉体燃料吹込み：微粉炭（PC）
4. 気体燃料吹込み：天然ガス（NG）、コークス炉ガス（COG）、還元ガスなど

この中で、最近、採用されて来た最も一般的な方法は、Table 1 からも明らかなようにオール・コークス操業である。オール・コークス操業化により、高炉は20年前の操業に戻ったことにもなる。しかし、この間、出鉄比、燃料比など他の操業条件は大きな進歩と変化をとげてきたので、同じオール・コークス操業でも新たな技術的対処が必要とされている。

Table 1 The style of fuel injection into the blast furnace in Japan as the end of Oct., 1981

Fuel injection	Furnace numbers
No injection	30
Tar injection	7
Oil injection	1
Tar+oil injection	2
Coal injection	1
COM injection	2
TCM injection	1
Sum.	44

上記の他の代替燃料吹込みは、これまで検討されているかなり一般的なものであり、現在いくつかの高炉で実用化段階に入っているものの（Table 1）メリットは、特殊な環境条件の製鉄所で成立するものであり、将来技術の習得が主たる目的であろう。また、石炭・水スラリー¹⁾やメタノールの吹込みの検討も進められており、一応の可能性を示している。

2. オールコークス操業における技術的問題点と対策

先に述べた石油価格高騰による高炉の重油吹込みからオール・コークスへの移行は、昭和54年後半から始まり、昭和56年初旬にはほとんどの高炉がオール・コークス操業となった。高炉への重油吹込停止にさいし、生じた操業上の問題点で一般的な現象は装入物降下の不安定、すなわちスリップの増加である（Fig.1）。千葉第2高炉ではオール・コークス化移行時点で炉壁流が減少し、シャフト下部炉壁部に不活性帯（又は付着物）が生成し、これが装入物降下の不安定さの原因となった。ベル・レ

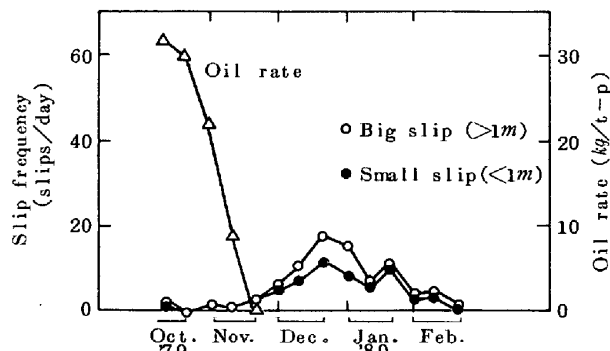


Fig.1 Increase of slips by the reduction of oil rate (Chiba No.2BF)

ス装入設備により装入物分布を制御し、炉内ガスの適正炉壁流を得ることにより安定操作を得ることができた (Fig. 2)。

Fig. 3は、川鉄各高炉のオール・コークス化前後の送風温度と送風湿分の変化を示している。上述の装入物分布制御のみでは完全な安定炉況が得られない場合があり、一般的には送風温度を低下させ送風湿分を上昇させている。これは重油停止による、羽口先理論燃焼温度 (T.F.T) の極端な上昇を避けて、適正に維持することであり、また重油停止による水素投入量減に対する水素量補償の意味をもつものである。

3 炉内ガス中 H₂ の役割

オイルカット操作開始時期の前後において炉況が一時不安定となりスリップが多発したが送風湿分の増加とともに炉況は徐々に回復し、重油吹込み期とほぼ同一の水素入量レベルに達した時点でスリップは鎮静化した。こ

のように水素が炉況の安定化効果を有するということは操業者に一般的に認識されている事実であり、操業解析からも Fig. 4 に示したように水蒸気添加による炉内通気性の改善が確認されている。しかしながらそのメカニズムについては殆ど解明されていないのが実情である。

水蒸気添加による炉況安定効果として 1) 直接還元率の低下, 2) レースウェイ容積の増大, 3) 高炉装入物の高温挙動の改善, 等が考えられる。水素入量の増加とともに直接還元率は増加するが概ね 36~38% とほぼ一定であることから直接還元率の低下による炉況安定化効果は無視しうると考えられる。又、千葉第 2 高炉でのレースウェイ深度測定結果からはレースウェイ深度と送風湿分との間に対応はみられず、又レースウェイ深度の浅い期間においても安定した操業が為されているなどレースウェイ容積の増大による炉況安定化効果は確認できなかったが、中村らは²⁾ コークスモデル燃焼実験から水蒸気添加量の増大にともないレースウェイ容積が著しく増大すると報告している。

Fig. 5 に焼結鉱の高温荷重軟化性に及ぼす水素の影響を示す。水素の添加により耐軟化性の向上、圧損上昇開始温度の上昇、圧損ピーク値の低下等、焼結鉱の高温挙動が顕著に改善されており、融着帯巾の実質的な減少、コークスと FeO スラグとの接触還元量の低下によるスラグフォーミング量の減少等の効果が予想され、結果的に融着帯での通気を改善すると考えられる。これは水素が高温域で高還元能を有すること、さらに (1) 式で表わされる水性ガス反応により水素が再生されて再び還元に寄与すること

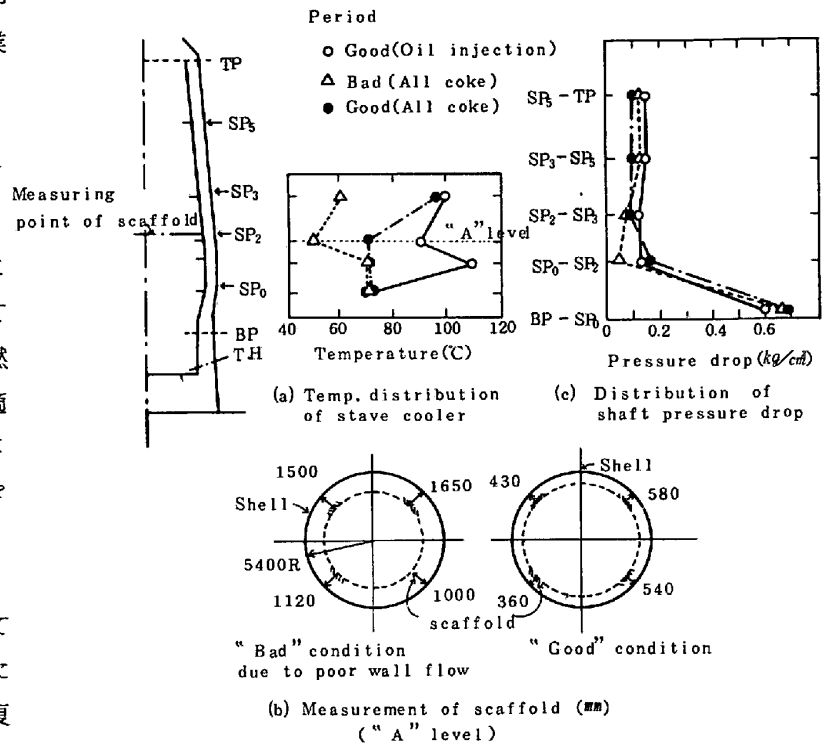


Fig. 2 Relationship between gas distribution and furnace condition in Chiba No. 2BF

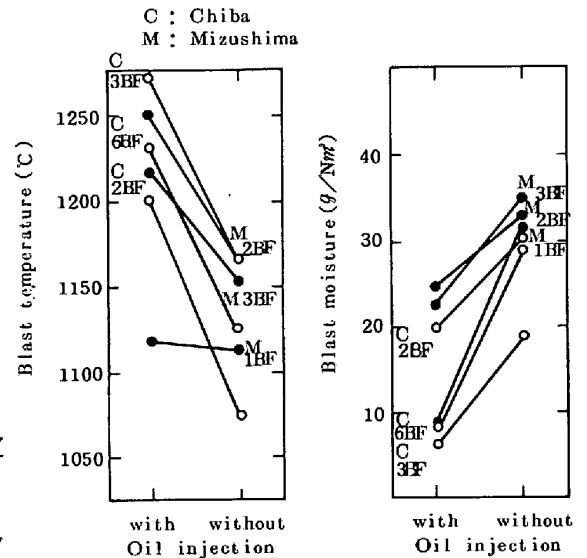
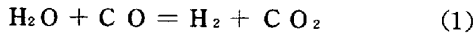


Fig. 3 Change of blast temperature and blast moisture by stop of oil injection.



に基づくものである。

以上から水素は高炉装入物の高温挙動を改善することによって融着帯での通気を改善し、結果的に炉況の安定化に大きく寄与するものと考えられる。

逆V型の融着帯を有する高炉では根部に近いほど、つまり炉壁に近いほど融着帯の断面の割合が大きく、そこでの通気が融着帯全体としての通気に大きく影響を及ぼすと考えられる。そこで炉壁流をある程度確保し、且つ水蒸気を添加することにより融着帯全体としての通気が改善されて円滑な荷下りに寄与すると考えられる。

又、次項に述べるように高炉全体としてのガス利用率の向上といった観点からも、水素の添加によりガス利用率が向上するというデータを得ており、炉内ガス中水素濃度の確保は高炉操業上必要な条件と言える。

4. 代替燃料の技術的、設備的比較

4-1. 各燃料の高炉操業に対する効果

高炉操業への代替燃料吹込の影響をモデル計算により求め比較した。モデルは平衡論に基づいて、熱保存帯上下で、物質収支、熱収支をとる、いわゆるIRSID型モデルである。本来、平衡論に基づく収支モデルは操業結果をもとに、炉内の解析を行うためのものであり、操業因子を変更した場合の高炉操業結果を予測し得るものではない。しかし、羽口先水素濃度と保存帯でのガス利用率には有意な関係が認められる³⁾ので、この関係を関数形で与え、さらに炉体放散熱を一定と仮定することで、操業因子変更時の物質収支、熱収支をとることが可能となる。Table 2 に千葉第6高炉でのオール・コークス操業(昭和56年8月平均)を基準として、羽口先理論燃焼温度一定の条件で、重油、タールおよび微粉炭を各々50 kg/t 吹込んだ場合の操業因子の変化を示した。

この結果、熱風炉も含めた高炉系での使用エネルギーとしては、重油吹込の場合がもっとも少なくなり、価格面を無視すると、重油がエネルギー的には有利な補助燃料であったことを示している。表中のシャフト効率の各々の燃料による変化から、燃料比に及ぼすH₂ガスの効果が小さくないことがうかがわれる。

4-2. 各プロセスの設備的比較

オール・コークス操業では、燃料吹込みのための特別な設備は不要であるが、コークス使用量増に伴うコークス炉などは必要である。しかし、現今の減産下では、ほとんどの製鉄所ではコークス設備過剰であり問題を生じていない。

代替燃料吹込みの場合には、その燃料ごとに設備は異なる。タール吹込みはヒーター、流量調節装置など重油とほぼ同様でよく確立された設備と云えよう。COM、TCM吹込みには湿式ではあるが、石炭

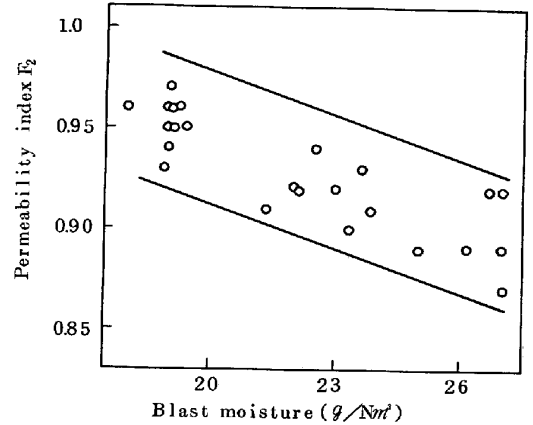


Fig.4 Relation between blast moisture and permeability index F₂

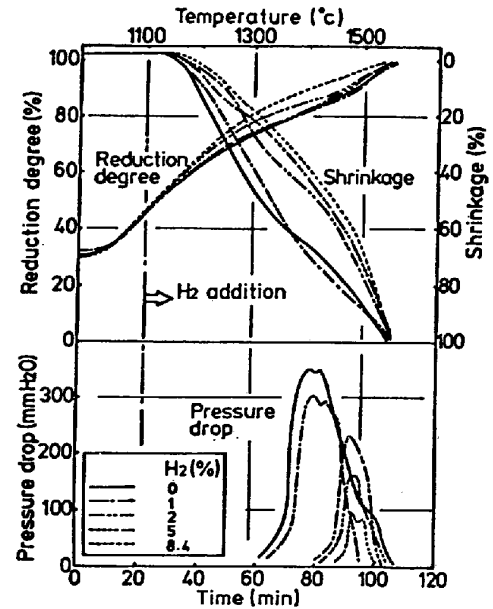


Fig5 Effect of H₂ gas on high temperature properties of sinter

粉砕設備が必要となり、流体の粘性が高いことから圧送圧力を高くするための昇圧装置が大きくなり、また、流量調節設備、流量計配管に対し耐摩耗にも留意しなくてはならない。P C I については、石炭を乾式で粉砕、分配、圧送しなくてはならず、炭塵爆発、分配圧送設備、流量計の精度の問題など、今後の開発要素は多分に残っている。建設コストは高く、中国、米国などではかなり古くから行なわれてはいるが、我が国では、新日鉄・大分で米国のアームコ方式の設備が昭和56年稼動しており、神戸製鋼(株)でもペトロカーブの技術を導入し、

Table 2 Operational indices in each fuel injection (Calculation)

		all coke (base)	oil 50kg/T	coal 50kg/T	tar 50kg/t
coke rate	kg/t	458.1	375.6	4025	388.6
fuel rate	kg/t	458.1	425.6	4525	438.6
blast temp.	℃	1193	1300	1250	1300
blast moist.	g/Nm ³	30.7	6	15	12
T. F. T	℃	2360	2360	2360	2360
blast rate	Nm ³ /T	985.2	938.5	962.1	964.4
top gas rate	Nm ³ /T	1464.5	1383.5	1433.7	1422.1
top gas calory	kcal/Nm ³	686.7	656.7	673.3	667.5
top gas calory rate	10 ³ kcal/T	1005.7	908.5	965.3	949.3
top gas temp.	℃	140	152	152	161
η_{co}	%	52.8	55.4	53.6	54.0
shaft efficiency	%	87.6	91.7	88.4	88.6
direct reduction rate	%	34.4	33.6	34.7	34.9
thermal flow ratio	—	0.860	0.843	0.841	0.838
hot stove heat consumption	10 ³ kcal/T	412.7	431.7	421.1	448.1
heat demand in B.F.	10 ³ kcal/T	1042.3	975.1	988.2	1014.4
total heat demand	10 ³ kcal/T	1455.0	1406.8	1409.3	1462.5

昭和57年度稼動予定とのことである。他の燃料吹込みに比し、気体燃料吹込みについては安全防災対策の面を除けば比較的設備は単純である。

5. 省オイル操業の今後の課題

先に述べたように現在はほとんどの高炉は重油吹込を中止し、オイル・レス操業となっており、またそのほとんどがオール・コークス操業である。P C I など代替燃料の吹込みは数例をみるにすぎない。今後、エネルギー価格は更に上昇するであろうし、またエネルギー種により価格の変動が大きいであろう。一方、各製鉄所のおかれた環境は、それぞれ異なる。すなわち、コークス炉能力の大小、保有発電設備の大小、他設備も含めての省エネルギーの進展程度などがあり、それにより副生エネルギー（コークスガス、タール、高炉ガス）の評価が異なる。従って代替燃料の採否、および種類は上で述べたエネルギー価格体系、製鉄所のおかれた環境をあわせ考慮して決定されることになろう。また、状況に応じていかなる代替燃料も使えるよう各種燃料吹込み技術を確認しておく必要がある。

文献 1) 宮下, 福島, 名雪, 佐田, 大槻; 鉄と鋼, 67(1981), S733

2) 中村, 杉山, 鶴野, 原; 鉄と鋼, 63(1977), S449

3) 田口, 槌谷, 高田, 岡部; 鉄と鋼, 64(1978), 691