

鉄鋼技術共同研究会部会報告

製鉄部会報告講演

高炉送風の処理について*

小野田 武夫**

On Treatment of the Blast into Blast Furnaces.

Takeo ONODA

I. 緒 言

1961年度中に新に吹入れされた高炉は鋼管鶴見 No.1 富士室蘭 No.4, 川鉄千葉 No.4, 神戸灘浜 No.2, 八幡戸畑 No.3 の5基で整備高炉は40基でその内容積は第1表のようであり, 第2表に月別の高炉稼働状況を示す。

高炉1基当り平均内容積は $1,046\text{m}^3$, 1基1日当りの平均出鉄量は約 $1,200\text{t}$ で, 内容積 1m^3 当り1日出鉄量は 1.16t である。また炉の操業成績を判断する一つの指針となるコークス比は全高炉の平均が 591kg/t という素晴らしい好成績を示すにいたつた。

近年わが国の高炉が逐次大型化され, 生産能力が増大するとともに, 生産性の向上やコークス比の低下などに顕著な進歩を遂げている。このように高炉の能率が増進した原因は色々あるが, まづ装入原料の事前処理に負う所が多い。すなわち鉍石の破碎, 篩分, 整粒を強化し, 粉鉍は焼結鉍やペレットとし, 特に石灰を加えた自溶性焼結鉍が普及し, 鉍石のベッディングも発達した。コークスはその灰分を減じ, 潰裂強度も増し, 整粒も強化された。こうして炉頂から装入される原料については理想的な形に近づけるよう不断の努力が続けられている。

他方最近いちじるしく注目され, かつ今後益々発達すると予測されるのは送風の処理である。送風の処理方法としては酸素富化, 湿分の調整, 高圧操業, 高温送風, 送風量の調節および燃料の添加などである。

送風処理を行なう場合, 通常複合送風としていくつかの処理方法が併せ用いられてその効果を発揮出来る。それぞれの処理方法相互間には密接な関係を有しているし, また原料処理状況との関係も深い。

これら送風処理の中で最近わが国で格別に注目をあびているのは燃料の添加である。とくにわが国では重油を

きわめて有利に利用し得る状況にあるため, 実施後未だ日が浅いにもかかわらず, 目ざましい発展を遂げている。1961年度中に15基の高炉に重油吹込みが実施され, その他の高炉にも着々実施の備準が進められ, 全高炉に普及しつつある。実施の結果コークス比の低下と出鉄量増加とに未曾有の好成績を収め, コークス比 500kg/t の壁を打ち破る実績が次から次に見られ, 400kg/t を割る快記録も出るにいたつた。

高炉作業におよぼす送風処理の影響は操業条件により種々異なり, 複合送風の総合結果としてあらわれるのであるが, 実施例より概況を示せば第3表のようである。

II. 酸素富化送風

酸素富化送風は高炉の出鉄量を大巾に増加する。酸素富化の考えはずつと古いが, 経済的に成立したのは, 多量の酸素を安価に供給出来る空気中の酸素分離法が完成した以後である。わが国では1958年頃より高炉への酸素添加が行なわれ好成績を収めている。現在は製鋼用に使う酸素の余力のある限り高炉への酸素添加が行なわれているが, 酸素富化操業を目標として酸素工場の能力を決められたものもあり, 今後益々この傾向が強くなるであろう。

酸素富化送風の影響は酸素富化1%につき大体5%の出鉄増, コークス比は幾分低下する結果を得ている。また酸素富化の効果を発揮するためには酸素1%につき $5\sim 7\text{g/m}^3$ の湿分を添加する必要がある。酸素富化量は通常4~5%位までである。酸素富化操業成績の一例を第4表に示す。

* 昭和37年4月鉄鋼技術共同研究会第3回部会報告講演会にて講演

** 前製鉄部会長, 播磨耐火煉瓦株式会社副社長

第1表 高炉内容積 (1962. 3. 31 現在)

社名	工場	炉号	次数	内容積 (m³)
八幡	東田	No. 3	7	518
		No. 4	7	512
		No. 5	6	646
		No. 6	5	650
	洞岡	No. 1	4	838
		No. 2	5	884
		No. 3	4	1,184
		No. 4	4	1,279
	戸畑	No. 1	1	1,603
		No. 2	1	1,657
		No. 3	1	1,947
	計			11,718
	富士	室蘭	No. 1	3
No. 2			3	1,042
No. 3			3	933
No. 4			1	1,701
釜石		No. 1	4	1,018
		No. 2	7	1,610
		No. 1	4	1,273
広畑		No. 2	4	1,250
		No. 3	1	1,515
計				11,384
鋼管	川崎	No. 2	2	1,137
		No. 3	3	965
		No. 4	3	881
		No. 5	3	903
	鶴見	No. 1	1	1,143
		No. 2	3	516
計			5,545	
住金	小倉	No. 1	2	525
		No. 2	2	752
	和歌山	No. 1	1	1,350
計			2,627	
中山	船町	No. 1	2	652
		No. 2	3	698
計			1,350	
尼鉄	尼崎	No. 1	3	662
		No. 2	1	753
計			1,415	
川鉄	千葉	No. 1	2	913
		No. 2	1	1,172
		No. 3	1	1,689
		No. 4	1	1,689
計			5,463	
神戸	灘浜	No. 1	1	752
		No. 2	1	1,243
計			1,995	
大阪	西島	No. 1	1	326
合計				41,823

第2表 月別出鉄比・コークス比

年	月	稼働基数	内容積計 m³	出鉄量 t	出鉄比 t/m³	コークス比 kg/t	
1961	4	37	36,160	1,186,775	1.125	605	
		37	36,160	1,263,854	1.127	604	
	6	37	36,160	1,250,338	1.153	597	
		36	35,660	1,241,561	1.123	597	
	8	37	37,686	1,281,030	1.109	594	
		37	37,686	1,262,021	1.116	595	
	10	38	38,964	1,409,859	1.167	593	
		38	38,964	1,394,990	1.193	592	
	12	38	38,964	1,455,750	1.205	589	
		38	38,964	1,466,415	1.216	584	
	1962	2	38	38,964	1,338,684	1.227	576
		3	39	40,911	1,493,063	1.177	570
平均				1,337,028	1.162	591	

高炉会社9社 (八幡, 富士, 鋼管, 住金, 川鉄, 中山, 神戸, 大阪, 尼鉄)

第3表 高炉送風処理の影響

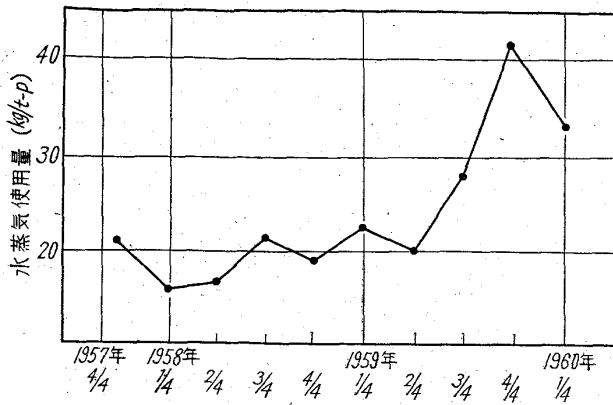
種別	出鉄量		コークス比		備考
	影響	増加率 %	影響	減少量 kg	
酸素富化	増	5/1% O ₂	やや減		通常湿分を添加
湿分調節					湿分調節の効果の外に複合送風として効果を上げる。
高圧	増	0.7~1.3 / 0.1 kg/cm ²	やや減		操業や設備に問題があるが出鉄量の調節は容易
高温	増		減	20/100°C	900°C以上の高温が多く使用された。
風量調節					送風全量調節の外に各羽口流量も制御される。
重油添加	増	0.1~0.2 / kg/t	減	1.2~2.5 / kg	熱補償を要す
コークス炉ガス添加	増	0.1~0.15 / m³/t	減	0.5~1.0 / m³	熱補償を要す
天然ガス添	増	0.1~0.15 / m³/t	減	0.5~1.0 / m³	熱補償を要す
石炭添加	増		減	0.9/kg	試験段階

第4表 酸素富化操業成績

製鉄所名	八幡東田	富士広畑	鋼管川崎
実験年	1959	1959	1960
炉の大きさ m³	646	1273	881
生産量 t/d	750~800	1450~1550	1139
コークス比 kg/t	630~600	620~600	619
送風温度 °C		850~900	760
酸素富化%	~2.2	~2.6	~2.0
送風中湿分 g/m³	添加	~40	~33
O ₂ 1%当り出鉄量%	+4.8	+5.8	+5.0

III. 湿分の調節

送風中の湿分変動は直ちに炉況に影響するので、これを調節することは炉況の安定に役立つ。以前は湿分を低



第1図 洞岡工場における水蒸気使用量の推移

下させる乾風送風が主な対象であつたが、送風処理の発達とともに水蒸気添加が多く採用されるようになった。しかし水蒸気のみを添加する場合の利点は明確ではなく、通常酸素富化送風、高温送風および燃料添加などとともに複合送風として効果をあげる。

一例として八幡製鉄所洞岡工場における水蒸気使用量の推移を示すと第1図のようである。

IV. 高 圧 操 業

普通操業時における炉頂圧力は 20~50 g/cm² 位であるが、これを高めると出銑増、ガス灰低下などの効果がある。高圧操業の場合の炉頂圧力は 0.7 kg/cm² までのものが多く、0.1 kg/cm² 当り 0.7~1.3% の出銑増になると云われるが、コークス比は幾分低下する程度である。

高圧操業を行なう場合には、かなり設備の改造を要し、操業面での困難な点や設備の磨耗の増大などの問題がある。出銑量の調節は容易に行なえる。

わが国では未だ実施している高炉はないが、八幡東田第1高炉、富士室蘭第3高炉、鋼管水江第1高炉および東海第1高炉に設備する計画が進められ、実施を見る日も近い。

V. 高 温 送 風

送風温度を上げてコークス比を低下し、出銑増をはか

ることは古くから行なわれていたが、過去長い間熱風温度は 500~700°C 程度であつた。最近原料の事前処理が進み、調湿送風や燃料吹込みなどの実施とともに高温送風が要求され、900°C 以上の高温送風が多く行なわれるようになった。送風温度のコークス比におよぼす影響は操業条件により相違し、コークス比の比較的高かつた頃には温度 100°C 上昇につき 30~40 kg のコークス節減に相当すると考えられていた。コークス比の低下した今日でも 20 kg 前後のコークス節減が期待出来る。

釜石第2高炉において熱風炉2基操業期間を利用してその前後の状況より送風温度のコークス比におよぼす影響を調べた試験結果を示せば第5表のようである。

VI. 送 風 量 の 調 節

送風量の調節は送風温度とともに古くより行なわれていたが、通常送風全量について制御されていた。最近各羽口における熱風流量が測定され、その調節が行なわれるようになった。現在の所羽口流量の自動調節は色々困難な悪条件が多いが、送風の処理が進むにつれ、羽口流量調節の重要性が加わってくる。

VII. 燃 料 の 吹 込 み

高炉への燃料吹込みは近年各国で注目を浴び、立地条件に応じて有利な燃料が用いられている。米国では安価で豊富な天然ガスの吹込みの方が有利と考えられ、ヨーロッパでは重油吹込みの実施が多くなっている。わが国では 1959 年頃より重油吹込みに関する検討が行なわれ最も有利に重油を利用し得る状況にあるので、短期間に急速に普及実施されるようになった。その結果コークス比の低下、出銑増加にいちじるしい効果をあらわし、銑鉄原価の低減に役立つている。

鉄鋼技術共同研究会製鉄部会としては重油吹込みにより銑鉄原価を切り下げ得るという国家的重要性を考え、これを共通議題として取り上げ情報の交換、技術の向上をはかっている。また製鉄部会内に重油吹込みに関する特別な研究グループを設けて、話し合う場を多く持つ計画をも立てている。

第5表 送風温度のコークス比におよぼす影響 (釜石第2高炉)

項 目	期 間			Ⅰ—Ⅰ	Ⅰ—Ⅱ
	Ⅰ 自1960. 10. 2 至1960. 10. 11	Ⅱ 自1960. 11. 1 至1960. 11. 10	Ⅲ 自1961. 1. 15 至1961. 1. 24		
送 風 温 度 °C	811	668	813	-143	-145
コークス比 kg/t	675	693	662	+ 18	+ 31
補正コークス比 kg/t	675	704	654	+ 29	+ 50
風温 100°C 当りコークス増減 摘 要				20	34
	熱風炉3基操業	熱風炉2基操業	熱風炉3基操業		

石炭の吹込みは未だ試験段階にあるが、成功すればきわめて効果的で重要な意義を有している。

1. 重油吹込み

1.1 概 況

1961年度中にわが国で重油吹込みを実施した高炉は15基で、その後引続いてその基数を増し、近い将来において殆んど全高炉に実施される見通しである。実施状況の概要を示せば第6表のようで、コークス比 500 kg/t 以下の実績も鋼管、釜石、広畑、八幡、大阪製鋼など数多く見られる。

高炉への重油吹込みの特徴としては 1) コークス比の低下, 2) 出鉄量の増加, 3) 操業の安定化に役立つ 4) コークス炉の能力不足を補う, 5) コークス炉設備

の節減, 6) 吹込み設備が安価, 7) 以上の理由より鉄鉄原価引下げに役立つ。

1.2 吹込み設備

重油吹込み設備は比較的簡単安価で現有設備に大きい改造を要しない。すなわち重油貯蔵タンク、昇圧装置、加熱装置、ストレーナー、温度、圧力、流量などの制御装置、安全装置、配管および吹込みノズルその他よりなる。

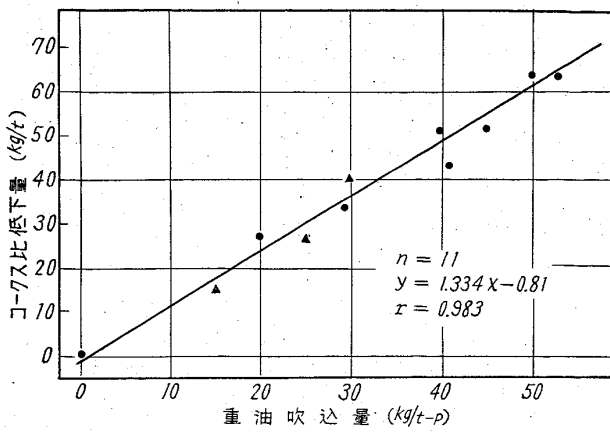
吹込み方法としては大体次の3種類がある。

- 1) 重油をそのまま吹込み羽口を通る高速の熱風により霧化する方法。
- 2) 重油の自圧により機械的に霧化して吹込む方法。
- 3) 圧搾空気などの他の気体により霧化して吹込む方法。

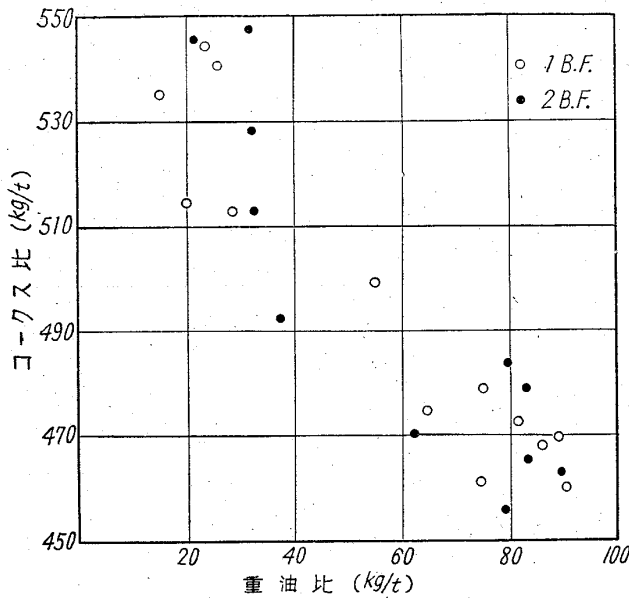
第6表 重油吹込操業概要

会社工場名	公称能力 t/d	吹込開始	期 間	重油比 kg/t	出鉄量 t/d	コークス 比 kg/t	重油吹込効果		吹込 羽口数	吹込方法	
							出鉄増加率 %/kg/t	コークス代替率 kg/kg			
富士・室蘭 No. 1	1,000		基 準	自1961. 6 至1961. 9	0	1,157	614				
	1,000	1961年 10月25日	吹込操業	自1962. 3.19 至1962. 3.31	48.8	1,327	547	0.30	1.37	10/16	空気霧化 ランス型
富士・釜石 No. 1	1,000		基 準	自1962. 1.11 至1962. 1.20	0	1,342	560				
		1962年 1月16日	吹込操業	自1962. 3.11 至1962. 3.20	64.9	1,390	456	0.06	1.60	12/14	羽口型
富士・広畑 No. 1	1,300	1962年 1月15日	吹込操業	1962. 4	81.6	1,428	471		60 kg/tの時1.7 80 kg/tの時1.3	16/16	空気霧化 ランス型
富士・広畑 No. 2	1,300	1962年 1月12日	吹込操業	1962. 4	77.5	1,351	470			16/16	羽口型
八幡・東田 No. 4	400		基 準	自1961. 4. 1 至1962. 1.31	0	671	623				
		1962年 2月中旬	吹込操業	1962. 4	70.0	673	461		2.3	10/12	ブロー パイプ型
八幡・東田 No. 5	500		吹込操業	1962. 4	45.0	724	547			10/12	ブロー パイプ型
八幡・洞岡 No. 3	1,000		基 準	1961.12	0	1,560	602				
		1962年 1月5日	吹込操業	1962.4.	31.9	1,671	543	0.22	1.8	14/16	
鋼管・川崎 No. 2	1,000		基 準	自1961. 8.27 至1961. 9. 5		1,392	609				
		1961年 9月7日	吹込操業	自1961.11. 1 至1961.11.10	65.1	1,454	515	0.07	1.44	14/16	羽口型
鋼管・川崎 No. 3	600	1961年 4月15日								羽口型	
鋼管・川崎 No. 4	600	1961年 10月1日								羽口型	
鋼管・鶴見 No. 2	300	1962年 2月10日	吹込操業		45.5	640	541		1.5	9/10	羽口型
川崎・千葉 No. 4	1,500	1961年 12月18日	吹込操業	自1962. 3.11 至1962. 3.20	50.9	2,034	538	1.6 t/kg oil	1.2		羽口型 ランス型
住金・小倉 No. 2	650	1962年 2月7日	吹込操業	1962. 4	30.8	1,077	530	0.10~0.19	1.3~1.8	6/14	羽口型
大 阪 No. 1	300	1962年 3月	吹込操業							12/12	ブロー パイプ型

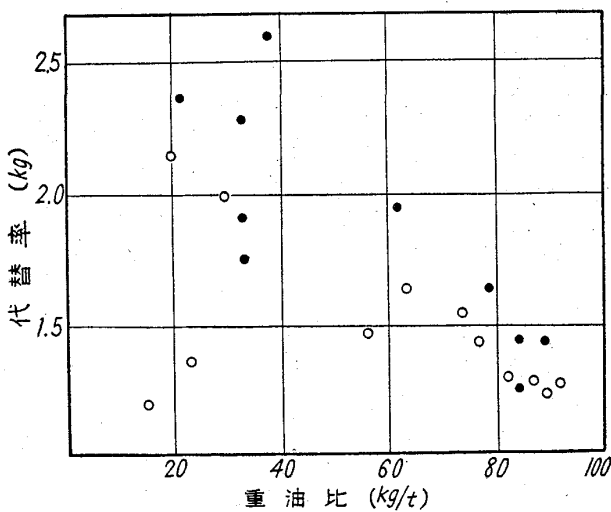
備考: 室蘭 No.2 は 1962年5月15日より吹込み開始, 和歌山 No.1 は 1962年8月, 中山 No.2 は 1962年11月吹込みを目標として準備中。



第6図 重油比とコークス比低下量 (室蘭)

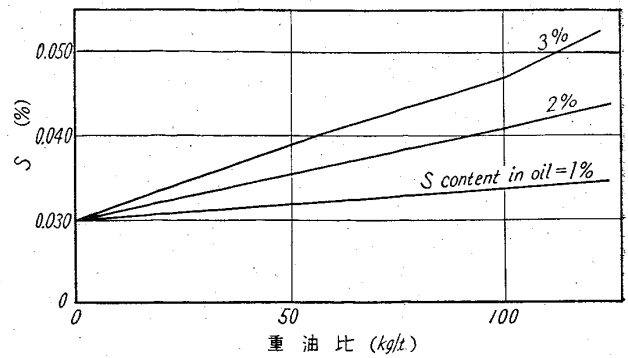


第7図 重油比とコークス比 (広畑)



第8図 重油比と代替率 (広畑)

重油中のS含有量が高い程、また重油吹込み量が多い程装入S量が増すから、鉍滓量や塩基度を高めて脱硫効



第9図 重油比と銑鉄中S量との関係 (広畑)

果をあげる。装入S量が多い場合には炉外脱硫を行なう頻度が増すことも予想される。重油中S%が1%、2%、3%の時重油比と銑鉄中S%との関係の推測を第9図に示す(広畑)。

重油中のS%は低い程作業上好ましいが、価格と供給量の面から高S重油の使用も考慮しなければならない。第7表にS%の異なる重油成分の一例を示す。

第7表 重油成分例

C	H	N	O	S	比重	発熱量
%	%	%	%	%		kcal/kg
86.52	10.27	0.66	1.00	1.55	0.972	9,586
85.11	10.72	0.38	1.35	2.27	0.942	9,713
84.41	10.43	0.29	1.37	3.20	0.954	9,759

炉頂ガス中には遊離炭素が含まれている。これは重油の有効利用率にも関係があり、ガス清浄作業上にも問題がある。

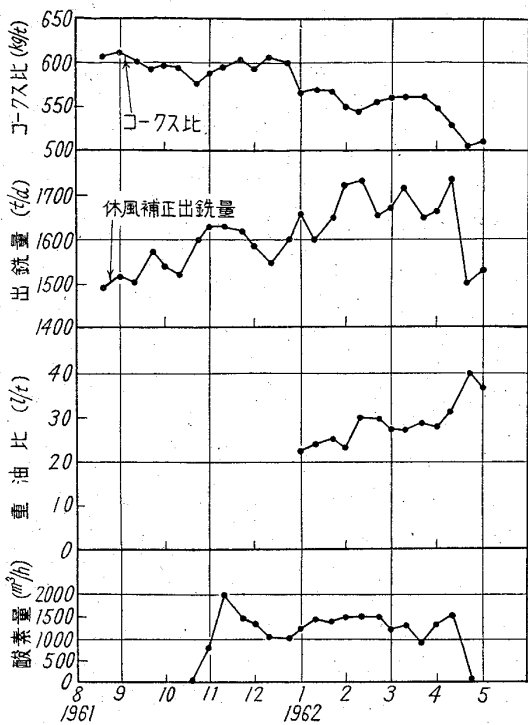
コークス比の低下により装入物中の鉍石対コークス比が大となり、通気性を害するので、装入物の整粒を強化し、炉内通気性を改善する必要がある。

操業成績の一例として、洞岡第3高炉と釜石第1高炉との実績を第10、11図に示す。

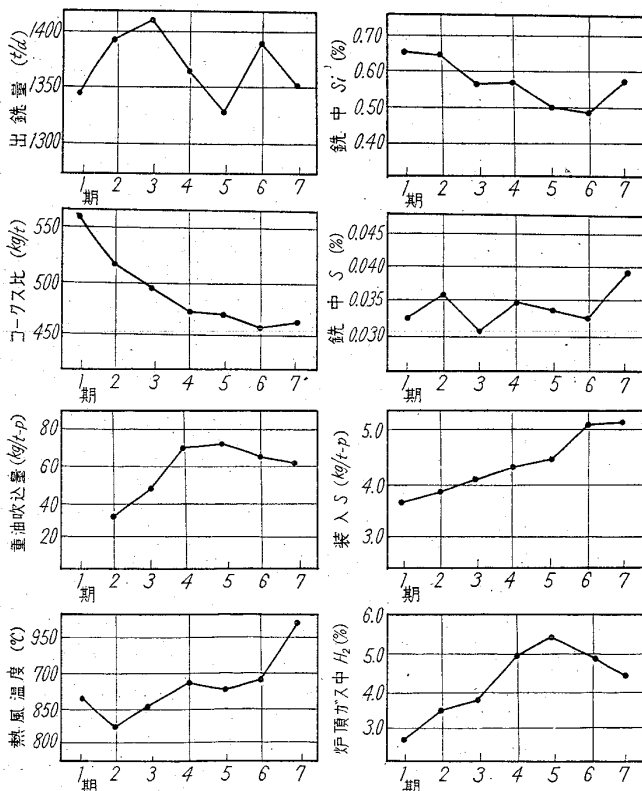
2. 還元ガス吹込み

コークス炉ガスや天然ガスを送風中に吹込むとコークス比を低下し、出銑量を増加させる。コークス炉ガスを深冷分離して得られるメタン含有量の高いガスも利用出来将来転炉排ガスの利用も考えられる。重油吹込みの場合と同様に、還元ガスの吹込みにより羽口前温度が下るから、送風温度の上昇、湿分の低下、酸素富化などにより熱補償を必要とする。例えばコークス炉ガス1%添加につき送風温度40°C上昇、または送風中の湿分5g/m³減少などの処置をとる。

コークス炉ガス吹込みの効果は、1m³/tにつき約0.1%の出銑増、コークスに対する代替率はコークス炉ガス



第10図 洞岡第3高炉操業成績



第11図 釜石第2高炉操業成績

1m³につき0.5~1.0kg位である。天然ガス吹込みの効果もほぼ同様である。

ガス吹込み方法は重油の場合と同じく、羽口型、ブローパイプ型、ランス型などがあり、ガス圧力は送風圧力

より高ければよい。

1961年6月東田第5高炉におけるコークス炉ガス吹込み試験の結果を第8表に、吹込んだコークス炉ガスの成分の一例を第9表に示す。すなわちコークス炉ガス吹込みによりガス1m³/tにつき約0.14%の出鉄量増加が得られ、コークス代替率はガス1m³に対し0.72kgとなつた。またガス吹込みとともに炉況は安定の傾向を示し、銑鉄成分には変化はなかつた。

川崎第5高炉では1961年11月より、コークス炉ガスの深冷分離により得られたガス(Rガス)を吹込み、大巾なコークス比の低下、炉況の安定などの好結果を得ている。第10表にRガス吹込み操業実績を、第11表にRガスの成分例を示す。なおこの場合ガス吹込みに伴う熱補償を実施していない。

第8表 COG吹込み試験結果(東田第5高炉)

項目	期間	基準期間	試験期間	増	減
		自1961. 6. 1 至 " 6. 14	自1961. 6. 17 至 " 6. 27		
COG 吹込量 (指定) m ³ /h	—	—	2,000		
" m ³ /t	—	—	55.4		
(送風量中)%	—	—	3.6		
出鉄量 t/d	806	864		58(7.2%)	
コークス比 kg/t	612	572		-40	
コークス代替率 kg/m ³				0.72	
Ore/Coke	2.564	2.728		0.164	
雑原料使用量 kg/t	39	12		-27	
焼結鉄使用割合 %	43.8	41.3		-2.5	
送風量(計算) m ³ /mn	909	926		17	
" m ³ /t	1,624	1,543		-81	
送風温度 °C	771	879		108	
送風中水分 g/m ³	25	20		-5	
送風圧力 g/cm ²	749	816		67	
炉頂ガス成分					
CO%	25.6	24.8		-0.8	
CO ₂ %	15.6	16.0		0.4	
H ₂ %	3.1	4.2		1.1	
銑鉄成分 C%	4.47	4.46		-0.01	
Si%	0.66	0.63		-0.03	
S%	0.033	0.029		-0.004	

第9表 COG の 成 分

成 分 %						H ₂ S g/m ³	発熱量 kcal/m ³
H ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	CO ₂	CO	O ₂		
52.8	30.8	3.8	2.5	7.0	0.1	4.11	4,750

第10表 Rガス吹込み操業実績
(川崎第5高炉)

項 目		基準期間	試験期間
		自1962. 3.11 至〃 3.15	自1962. 4. 1 至〃 4.30
ガス吹込み量	m ³ /t	0	38.3
出 銑 量	t/d	1,342	1,324
コークス比	kg/t	607	569
酸素富化量	m ³ /mn	15.9	15.8
送風湿分	g/m ³	20.5	26.1
炉 頂 ガ ス	CO%	26.6	25.2
	CO ₂ %	16.5	16.7
	H ₂ %	2.6	3.7

第11表 R ガ ス 成 分 例

H ₂	O ₂	N ₂	CO	CH ₄
3.6%	0.4%	15.8%	12.0%	65.9%
C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₆	カロリー	
1.1%	0.5%	0.7%	6,478 kcal/m ³	

3. 石炭の吹込み

石炭を微粉碎して単独に炉内に吹込むが、重油とともに吹込むことは現在なお試験的段階であるが、成功すればきわめて有利で、今後の開発にまつ。外国で1 kg の

石炭が0.9 kg のコークスを節約した試験結果がある。

VIII. 結 言

高炉の炉頂から装入される原料の事前処理と羽口から吹込まれる送風の処理を色々行なつて、高炉内の精錬を理想的な条件下で行なわせ、炉の能力を最大限に発揮させることが急速に実現されている。この中でも送風の処理は比較的最近になつて各国で注目され、進歩した技術である。

わが国の製鉄作業においては他国にさきがけて原料処理に力を注いだ結果きわめて優秀な成績をあげて来た。送風の処理についてはやや立ち遅れた面もあるが、現在では各種送風処理が急速に普及発達するようになり、曾ては予想だになし得なかつた程の成績の向上進歩を遂げつつある。各種送風処理の中で、重油吹込みは簡単容易で、わが国の原料事情より考える時最も効果的な方法の一つで、実施後未だ日が浅いにもかかわらずきわめて急速な発達を遂げ、遠からず殆んど全高炉に実施される情況にある。

今やわが国の製鉄界も、我々の眼前で、静かな革命が展開されつつあることが痛感される。

(昭和37年8月寄稿)