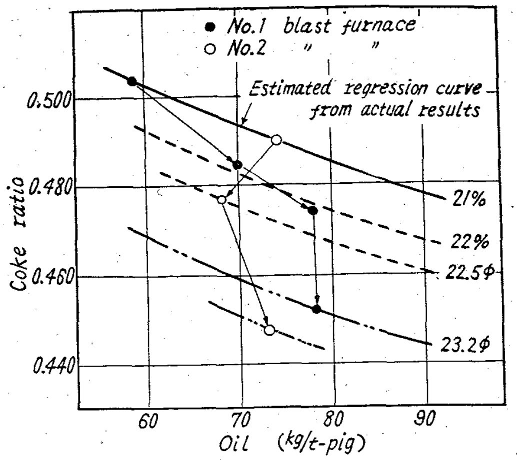

Fig. 3. Relation between coke ratio and oil rate under oxygen-enriched blast.

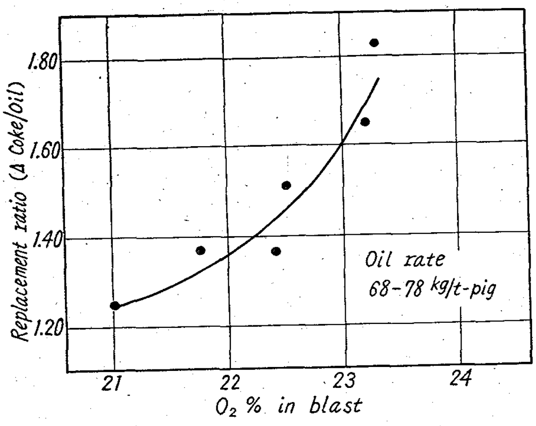

Fig. 4. Relation between oxygen enrichment and coke to oil replacement ratio.

における重油・酸素併用について現在操業試験中である．

3）代替率については重油約 70～80 kg / t における酸素富化と代替率の関係を Fig. 4 に示す．酸素富化期間中は重油の燃焼性は良好で，羽口よりの逆流現象もなく代替率も著しく向上することが推察された．

4）出銑量はその上限を抑えたため，増大という意味では明確なことはいえないが，風量原単位の立場より約 5 %の伸が推定された．

V. 空気霧化バーナーの効果

一般の重油バーナーについては空気または蒸気で霧化する方式を取ると燃焼性が良いといはれており，高炉への重油吹込に際しても，バーナーの耐熱保護と燃焼性の立場からフランス，ベルギーなどで盛んにその研究がためされている．当所においてはスタート時より先記せるごとく第 1 高炉に空気霧化方式，第 2 高炉に空気を使用しないバーナー方式をそれぞれ採用して来たが，その方式の差をコークス比を対象に検討してみた．なお霧化用空気量は 1 本のバーナー当り 0•5～2•0 Nm³/mn 使用している．

1）重油吹込量 50 kg / t 以上の酸素富化しないものにつき Fig. 2 の実績の回帰曲線を基準とし，それからの偏差平均値を高炉別に調べ，その平均値の差の検定を行つた．

$$Z_{ij}=C_{ij}-y_{ij}(=576-1{\cdot}83x_{ij}+0{\cdot}00673x^2_{ji})$$

Z_{ij}…回帰からの偏差，C_{ij}…coke kg /t,

$i=1$…第 1 高炉，$i=2$…第 2 高炉，

$n_1=13$，$n_2=15$

$Z_{1\cdot}=3{\cdot}93$　$S.S._{\cdot 1}=950$，$Z_{2\cdot}=-6{\cdot}82$　$S.S._{\cdot 2}=1518$

$$t_0=\frac{Z_{1\cdot}-Z_{2\cdot}}{\sqrt{S_1+S_2/n_1+n_2-2}\cdot\sqrt{1/n_1+1/n_2}}=2{\cdot}92^{**}>t\,(26,\ 0{\cdot}01)$$

以上は実績において第 1 高炉の方が高度に有意な差をもつてコークス比の高いことを示している．

2）次に第 1，第 2 高炉間に若干の操業条件差が認められるためこの分コークス比の補正を行ない種々検討した所やはり第高 1 炉の方がコークス比が高い，また有意差が認められないとゆう結論を得た．

以上の結果は第 1 高炉のコークス比の方が第 2 高炉より高い内至はせいぜい同じだということでありこのことは溶鉱炉熱風管中の熱風速 200 m/s 前後，熱風温度900～1000°C のごとき場所で使用されるバーナーにおいては空気霧化方式は少なくともその空気冷却によるバーナーの耐熱保護効果以外燃焼性における効果を期待できないことを示すものである．

VI. 総　　括

1）広畑においては 3 基の高炉共重油吹込操業を行つてる．

2）実績より重油吹込量とコークス比の関係式を明らかにした．重油吹込量 60 kg / t 以下では，吹込量を増大すれば増大分等量以上のコークス量が節成される．

3）重油・酸素富化併用試験の結果コークス比低下，代替率向上の著しいことが分つた．これは重油の燃焼性が良く成つたことであり富化濃度，重油量を更に高めた操業又は酸素霧化方式バーナーなど今後の問題である．

4）高炉における空気霧化方式のバーナーは，その冷却効果に依るバーナーの耐熱保護以外燃焼性向上に依る効果は期待できない．

669.162.263.23:669.162.283

(15) 高炉内におけるカーボン・デポジションとソリューション・ロス

(高炉内における鉄鉱石の還元とコークス比—Ⅱ)

八幡製鉄所，技術研究所　63015
工博　児玉惟孝・○重見彰利・東　辰男

Carbon Deposition and Solution Loss in Blast Furnace.　309～312

(Iron ore reduction in a blast furnace and coke ratio—Ⅱ)

Dr. Koretaka KODAMA, *Akitoshi* SHIGEMI and *Tatsuo* HIGASHI.

I. 緒　　言

M. A. PAVLOV の理論に従つて M. M. LEIBOVICH および A. N. RAMM は高炉の最適間接還元率は送風温度 800°C～900°C の場合，70～76% であり，高炉技術者はコークス比を下げるためには間接還元率をこの値まで上げるように努力すべきであるとした．筆者らはこの誤りを前報[1]で理論的に明らかとして次の結論を導い

た．間接還元率とコークス比の関係は一律に定まらない．したがつてコークス比を下げるためには，間接還元率にこだわらなく銑鉄 t 当り羽口先で燃焼生成する CO 量を直接減少させるように努力すべきである．また炉頂ガス中の CO_2/CO は M. A. PAVLOV の限界値よりも大きくなり得る．このように結論がことなつた理由は M. A. PAVLOV らが化学反応および化学平衡だけを考えたのに対して，我々はさらに，カーボン・デポジションおよびソリューション・ロスを考慮したためである．このため，高炉内における鉄鉱石の還元とコークス比の関係を論ずる場合，カーボン・デポジションおよびソリューション・ロスが無視できるか否かを，つぎに検討した．

II. カーボン・デポジション

金属やその酸化物，あるいは CO, CO_2 以外のガスが共存した場合の次式の反応については，これまでにも，かなりくわしく研究されている．

$$2CO \rightarrow C+CO_2 \quad \cdots\cdots(1)$$

これらの結果から，高炉内においてもかなりのカーボンが析出しているであろうことが推測されるが，その析出量が無視できるか否かを検討するには，なお不充分である．この点を検討するためには，まず実際の高炉内で装入物が 450°C ～650°C の範囲内に存在する時間を知る必要がある．実際の高炉のシャフト内における温度分布についてもこれまでにかなり多くの報告が提出されている．これらの報告によると装入物の温度が 450°C ～650 °C の範囲内に存在する時間は，シャフトの高さの 1/10 ～1/6 程度の場合がもつとも多い．さらに ore/coke が大きい場合には，シャフトの高さの約 1/2 にもおよんでいることがある．

一方，装入物の下降速度を推測するために八幡製鉄所の各高炉について，装入物のトラベリング・タイムを求めると Table 1 の結果となつた．

この結果から高炉のシャフト内で装入物が 450°C ～650°C の温度範囲内に存在する時間は，一般に 20mn～50mn 程度と考えられる．

一方 CO 30%+N_2 70% の還元ガスを使用し，単位鉱石量あたりの還元ガス量を実際の高炉と同様にして，500°C におけるカーボン析出量を求め Table 2 の結果を得た．この表のカーボン析出量は 3mm～5mm 粒度の試料 100g に対する値であるが，更に鉱石粒度や，還元ガス成分などを変えて実験した結果なども考慮すると，高炉内でのカーボン析出量は鉱石 t 当り 2kg～30kg の範囲内にあると考えられる．

このことは，高炉内でのカーボン析出が無視できないことを意味する．なお参考までに CO 25%, CO_2 17% の 2000m³ のガス中からカーボンが析出した場合の CO %および CO_2% の変化を示すと Fig. 1 のようになる．

Table 1. Passing time of burden in blast furnance.

Blast Furnace		Travelling time	Passing time in shaft
Higasida	No. 3 B. F.	8°46′	5°1′
〃	No. 4 B. F.	7°36′	4°21′
〃	No. 5 B. F.	8°4′	4°41′
〃	No. 6 B. F.	9°51′	5°45′
Kukioka	No. 1 B. F.	9°7′	5°18′
〃	No. 2 B. F.	7°47′	4°34′
〃	No. 3 B. F.	8°31′	5°1′
〃	No. 4 B. F.	9°51′	5°52′
Tobata	No. 1 B. F.	7°32′	4°25′
〃	No. 2 B. F.	7°45′	4°39′

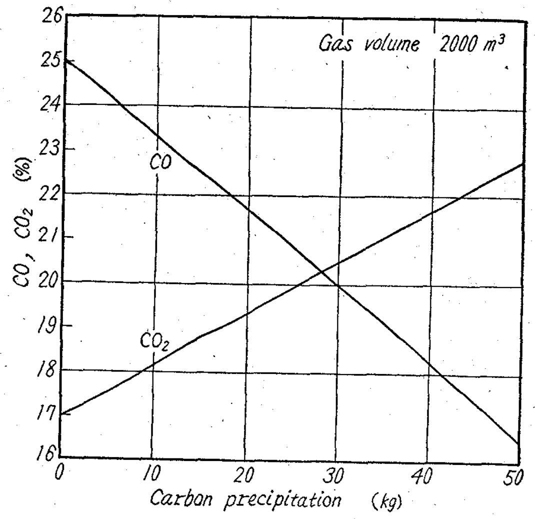

Fig. 1. Variation of gas components with increasing carbon deposition.

Table 2. Relation between ore sorts and carbon deposition.
(Temperature 500°C, red. gas. Co 30%+$N_2$70%, 5 l/mn, ore size 3～5mm)

Ore	Closed time by carb. dep	Precipitated carbon (gas analysis)		Deposited carbon (chem. analysis of sample)	
		Preci. (g)	Preci. vel. (g/10mn)	Dep. carb. (g)	Dep. vel. (g/10mn)
Dungun	35 mn	3·51	1·00	1·67	0·48
Goa	38 〃	3·97	1·05	1·97	0·52
Sinters	38 〃	3·79	1·00	2·03	0·54
Brazil	40 〃	3·75	0·94	1·68	0·42
India	40 〃	3·57	0·89	1·65	0·41
Adrianitas	40 〃	3·85	0·96	1·81	0·45
Katino	180 〃*	3·90	0·22	3·31	0·18
Larap.	170 〃*	0·95	0·06	0·85	0·05

* non closed.

Table 3. Coke rate and indirect reduction.　　1961.6

Blast furnace		Coke rate (kg/t-pig)	Blast (Nm^3/t-pig)	CO front tuyere (Nm^3/t-pig)	Top gas (CO_2%)	Top gas (CO%)	Indirect reduction (%)
Higasida	No. 3 B. F.	602	1560	656	15•7	25•8	60•6
	〃 4 〃	620	1620	680	13•6	28•0	58•5
	〃 5 〃	595	1588	668	15•8	25•4	61•5
	〃 6 〃	593	1563	656	14•8	26•8	59•5
Kukioka	No. 1 B. F.	680	1850	777	14•1	27•2	62•2
	〃 2 〃	564	1446	608	16•5	25•4	62•7
	〃 3 〃	601	1545	649	16•4	25•6	62•3
	〃 4 〃	601	1573	660	15•1	26•6	62•0
Tobata	No. 1 B. F.	557	1378	578	17•7	24•6	65•3
	〃 2 〃	558	1378	578	17•0	25•3	63•6

B. F.	Date	Cake rate (kg/t-pig)	Blast (Nm^3/t-pig)	CO front tuyere (Nm^3/t-pig)	Top gas (CO_2%)*	Top gas (CO%)	Indirect reduction (%)
Kukioka No. 2 B. F.	1958. 5	638	1756	738	16•3	24•9	63•8
	1959. 1	557	1502	631	16•3	24•2	64•0
	1959. 6	579	1538	646	16•5	24•7	64•7
	1959.12	613	1617	680	15•6	25•6	64•7
	1960. 6	593	—	—	16•1	25•8	68•8
	1960.12	606	1557	654	15•9	25•9	62•8
Tobata No. 1 B. F.	1959. 9	673	1899	798	15•9	24•3	68•0
	1959.12	572	1565	658	17•9	22•9	66•1
	1960. 3	610	1648	692	16•2	24•7	65•6
	1960. 6	598	1555	654	17•3	24•3	64•6
	1960. 9	598	1525	640	17•0	24•9	65•0
	1960.12	563	1484	628	17•2	25•0	63•4
	1961. 3	561	1384	582	17•1	25•4	62•5

* Does not include the CO_2 from lime stone.

III. ソリューション・ロス

シャフト下方の高温部では当然ソリューション・ロス反応が進行していると考えられる．

しかしそれを断定するためには，次式に対して実際の炉内ガス成分が，どのようになつているかを知る必要がある．

$$CO_2+C \rightleftarrows 2CO \cdots\cdots(2)$$

$$FeO+CO \rightleftarrows Fe+CO_2 \cdots\cdots(3)$$

この点については，N. N. BABBLYKIN らのかなりくわしい報告がある．これらから推察してソリューション・ロス反応が実際に進行していることが断定できる．さらにこのソリューション・ロス反応が無視できない程度に進行しているか否かを知るためには，まず実際の高炉内での鉄鉱石の還元状態を知る必要がある．この点についても，また，Magnitogorsk 工場，Zaporozhshal工場その他のかなりくわしい調査報告がある．これらの結果を見ると，鉄鉱石は溶解以前にすでに 80% 以上還元されている．

一方，実際の高炉では，前述のようにかなりのカーボン・デポジションが進行しているにもかかわらず，外観上の直接還元率は 30%～40% である．このことは，実際の高炉内では相当量のソリューション・ロス反応が進行していることを意味する．Table 3 に八幡製鉄所各高炉の昭和36年6月および洞岡第2高炉および戸畑第1高炉の最近数年間の間接還元率を示す．さらに実際の実験によつて固体接触による直接還元を種々検討したがその結果からも高炉内における直接還元は，鉄鉱石が溶解した後に大部分が進行すると考えられた．

IV. 検　討

当理論によると，M. A. PAVLOV らの説とことなり，炉頂ガス中の CO_2/CO が高炉操業成績の向上とともに相当に大きくなり得ることが明らかとなつた．この点を高炉のシャフト部の模型実験炉によつて検討した．当実験装置は，実際の高炉と同じ割合の装入物を上部より装入し単位鉱石量当りの還元ガス量を実際の高炉と同じにしている．また炉内の温度分布は実際の高炉と相似させかつシャフト下部における還元率が実際の高炉のそれと一致するように，我々が先に報告した還元式によつて計算し，装入物の下降速度をきめた．この結果は，実際の高炉の炉頂ガス成分とよく一致するが，きわめて還元性の良好な鉱石を使用すると，炉頂ガス成分中の CO_2/CO が非常に大きくなる．Fig. 2 はこの実験結果の一例である．同図において，シャフト下部で CO_2+CO% が増加しているのは，ソリューション・ロス反応のためであり，シャフト上部で CO_2+CO が減少しているのは，カーボン・デポジション反応のためである．また炉頂ガス中の

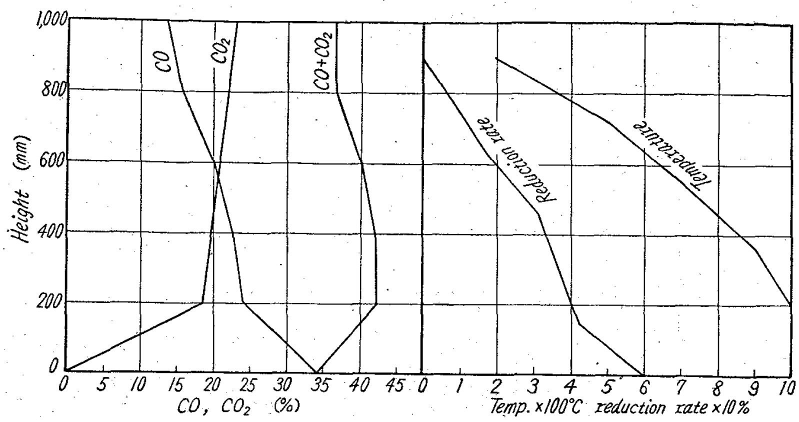

Fig. 2. Gas analysis and reduction rate in an experimental furnace.

CO_2/CO は約 1·7 と非常に大きな値となつている.

V. 結　　論

高炉内における鉄鉱石の還元とコークス比の関係を論ずるにあたつて，我々はカーボン・デポションおよびソリュション・ロスを考慮したため，従来の説とことなる結論となつた．このため実際の高炉内でこれらの反応が無視できないほどに進行しているか否かを，種々検討し，これらの反応が無視できないことを明らかとした．

さらに炉頂ガス中の CO_2/CO が従来の説以上に高くなり得ることを実験により確かめた．このことは我々の理論とよく一致する．

文　　献

1) 児玉，重見：鉄と鋼，**48** (1962) 11, p. 1217～1219

669.162.26:658.562.3

(16) 重回帰を用いた高炉操業計画の実施

63016

日本鋼管川崎製鉄所，製銑課
小林　正・林　泰生・○宮下恒雄
〃　冶金管理課
伊沢哲夫・飯塚元彦

312～314

Application of Multiple Correlation to Blast Furnace Practice.

Tadashi KOBAYASHI, *Yasuo* HAYASHI, *Tsuneo* MIYASHITA, *Tetsuo* IZAWA and *Motohiko* IIZUKA.

I. 緒　　言

高炉の操業計画および実績の検討に資するため，諸要因の高炉コークス比におよぼす影響を650電子計算機を用いて重回帰分析した結果を基にして，コークス比を算定する標準式を作成したことについては，既に報告*1) した通りである．最近扇島原料センターの予備処理設備の完成により整粒鉱石が使用可能となり，焼結鉱の品質改善，複合送風の適用，高風熱の利用といつた諸条件がそろつたので，このモデルを用いて新しい操業条件を適用した場合のコークス比を推定したところ，およそ454kg程度になつた．高度に整粒された鉱石や焼結鉱を用いればこのように低いコークス比でも操業可能であると考え実際操業に適用したところ，ほぼ計画通り 455kg までコークス比が低下し，何等支障なく操業でき，同時に算定式がよく適合するものであることが確認された．

II. 算定式について

構造模型は下記のようなものであり，昭和32年1月～34年5月の間のデータを解析することにより得られたものである．

$$C.R = \Sigma \alpha_i (x_i - \beta_i) + C$$

x_i：要因
α_i：回帰係数
β_i：変数常数
C：常数項

要因および係数は Table 1 に示す．

III. 操業条件の設定

当試験を実施した No.2 B.F. は，1959年3月から稼働しており内容積は，1143m³ で約 1450 t/d の出銑をしており，当試験を実施する前のコークス比は，510～530kgであつた．

(i) 風　熱

従来 850～900°C の風熱を使用してきたが熱風炉の最大能力である 950°C を使用し一定とした．炉熱はできるかぎり装入コークス量（または鉱量）で調整した．

(ii) 燃料吹込み

重油吹込量の増加は好ましいが，以前 2B.F. で行つたテストでは，70kg/t pig までの増加は困難であつた．

(iii) 鉱石の整粒強化

使用銘柄は，Fe% の比較的高いルモット，ウイルヘルミ，ズングン，マルコナと（ルモット以外の鉱石は扇

Table 1. Summary of variables and coefficients*1

Variables (x_i)	$\alpha_i(x_i-\beta_i)$
Blast temperature (°C)	−0·20(T−800)
Slag ratio (kg/t pig)	+0·25(Sr−350)
Coke consumption (t/day)	+0·15(Coke−700)
Coke ash (%)	+10 (Ash−10)
Metallic charge (kg/t pig)	−0·38(Met−20)
Al_2O_3% in slag	−5·1 (Al_2O_3−17)
Si% in pig	+42 (Si−0·70)
Mn% in pig	+34 (Mn−0·90)
Bacisity (1B)	+41 (1B−1·20)
Blast moisture (g/Nm³)	+0·68((Moi−30)
*Ore oversize (O kg)	+0·26(O−135)
undersize (U kg)	+0·60(U−76)
**Sintered ore (+10%)	−10kg
Oil injected (+10kg/t pig)	−10kg

* Coefficients calculated with multiple correlation obtained from the cases of No.3 B. F. (Kawasaki) in 1960.

** Coefficients calculated from the case of No. 5 B. F. (Kawasaki) operating with all-sinter burden.