

## 論 說

## 熔 鑛 爐 能 率 の 一 考 察

(日本鐵鋼協會第27回講演大會講演 昭. 17. 4. 東京)

末 松 一\*

## A CONSIDERATION ON THE EFFICIENCY OF BLAST FURNACES

Hazime Suematu

**SYNOPSIS:**—The reduction of iron in the iron blast furnaces may be regarded to be due to both of C and CO. The reduction amount due to CO gas amounts to 60–70% of the total iron content, and the rest is due to the direct reduction of carbon. The amount of coke used in the direct reduction corresponds to 10–15% of the total consumption and its rate is called the direct reduction percentage “D.R%”. The magnitude of D.R% is represented by the combustion velocity of coke and the charging velocity. The production capacity of a blast furnace is mostly determined by the direct reduction percentage, the gas reduction percentage and the blast quantity. It is possible to presume the highest capacity of the furnace by defining the limit value of the aforementioned three. Especially the magnitude of D.R% greatly influences the furnace status and the production capacity. The author theoretically explained that D.R% varies with the preheating capacity of the blast stove and the quantity of materials used, and thus intended to contribute to the operation of a blast furnace.

## I. 緒 言

筆者は拾數年間熔鑛爐作業に従事し操業状態を観るに確固たる科學的根據に乏しく主に經驗のみによる憾があるに依り現在の原料を使用して其の到達限界を理論的に究明する事とした。風量に對するコークス消費量、即ち装入回数、鑛石負荷量、コークス消費率、送風温度、出銑量の限界値等作業能率に關し可能なる範圍に於て數理的に算出した。

## II. コークスの直接還元率と装入回数

同一風量を送り同質のコークスを使用して日々のコークス消費量則ち装入回数に不同を生じ、装入速度速き時は爐内冷え氣味に向ひ、緩なる時は熱めに向ふ事は高爐操業者の常に經驗する所である。

若しコークス中の炭素の全部が衝風中の酸素により燃焼して消費されるものとすれば同一風量に對しては装入速度も略々一定でなければならぬ。然るに常に不同を生ずるのは他に炭素の消費物質が存在する事が想像される。先づ

考へられるのは鐵鑛石の全部がCOガスの間接還元を受け全部金屬鐵となるとは想像されず、ガス還元で漏れた一部は生鑛或ひは熔融  $FeO$  として爐床部に下降し白熱コークスの直接還元を受けるものと想像される。装入速度速く爐況冷え氣味に向ふ際羽口面より爐内を観察するに生鑛多く見え、又羽口に熔滓逆流せしものを分析するに想像以上  $FeO$  を多量含有する所よりみれば鐵の直接還元で消費されるコークスが相當量ある事は想像に難くない所である。

此の直接還元で消費されるコークス量が全消費コークス量の幾パーセントに相當するかをみ、此の率を D. R % (Direct Reduction Percent) と假定し D. R % の多少は高爐操業上重大な影響を及ぼすものである事を説明しよう。

若し送風量とコークス使用重量を正確に測定し得れば此の D. R % も數理的に算出し得るものである。

今洞岡第3高爐(公稱能力 1,000 噸)を例にとり D. R % を計算する事とす。

- 〔假定〕 1) コークス中の有效固定炭素分 78%, 灰分 20%  
2) 煙塵は装入量の 2% とす。  
3) 銑鐵成分 4% C, 1% Si, 1.5% Mn, 0.5% P,

\* 日鐵八幡製鐵所製銑部第二製銑課

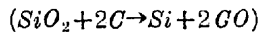
93%Fe

4) 鉄鐵砲當コークス消費量 1,000 kg

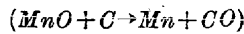
鉄鐵 1t 中の不純物の化合, 還元に要する C 量は

C 1,000 × 0.04 = 40 kg

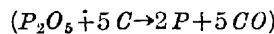
Si 1,000 × 0.01 × (24/28) = 9 kg.....



Mn 1,000 × 0.015 × (12/55) = 3 kg.....



P 1,000 × 0.005 × (60/62) = 5 kg.....



合計 57 kg

57 kg の C 量をコークス量に換算すれば

57/0.78 = 73 kg

鉄鐵中の不純物の化合, 還元に 73 kg のコークスを要する, 則ちコークスの 7.3% は不純物の化合, 還元消費される事になる.

今假りにコークスの全部が衝風中の O<sub>2</sub> と燃焼し D.R% が 0 の時のコークス 1t に要する基本風量を求むれば

O<sub>2</sub> と燃焼消費するコークス量は 1,000 - (73 + (煙塵) 20) = 907 kg

爐内に於ける C の燃焼状態は 2C + O<sub>2</sub> → 2CO

O<sub>2</sub> の所要量は 907 × 0.78 × (32/24) = 943 kg

空気 1m<sup>3</sup> の重量を 1.293 kg とし O<sub>2</sub> の重量パーセントを 23.1% とすれば

所要空気量は 943 / (1.293 × 0.231) = 3,157 m<sup>3</sup>

送風量 1,000 m<sup>3</sup>/mn の高爐の 1 日コークス消費量は

(1,000 × 1,440) / 3,157 = 456 t/day

次に同じく 1,000 m<sup>3</sup> の風を送り直接還元率 10% の時のコークス消費量は, 直接還元消費された量を x とすれば

x / (456 + x) = 0.1 x = 50,667 kg

1 日コークス消費量は 456,000 + 50,667 = 506,667 t/day 爐内に 10% の直接還元が行はれてゐるとすれば同一風量を送つても約 50 t/day のコークスを餘計に消費する事になる.

D.R% を求むる一般式を作れば

0.456 × V + a = W × N ..... (1)

D.R% = {a / (W × N)} × 100 ..... (2)

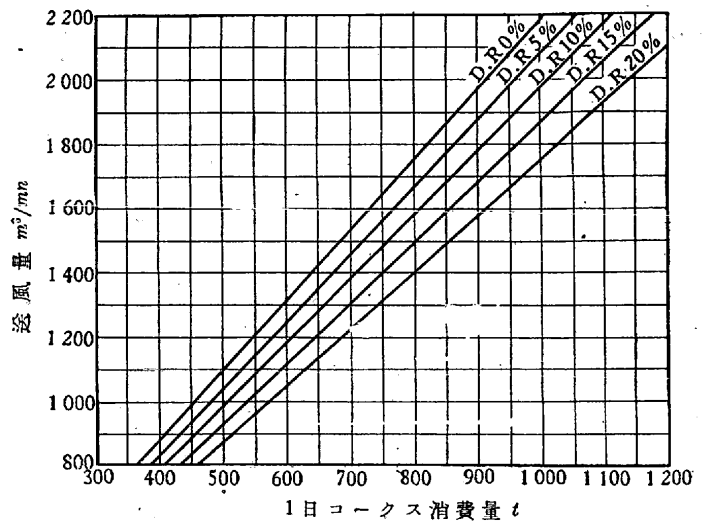
V.....1 分間送風量 (Nm<sup>3</sup>/mn)

a.....直接還元消費されるコークス量 (一日)

W.....コークス 1 回装入量

N.....装入回数 (一日)

0.456 は常數にしてコークス中の固定炭素分及び煙塵量により變動する. 上記の一般式から算出製作したのが第 1 圖である.



第 1 圖

風量とコークス消費量から各爐の D.R% は直ちに求め得る.

今 3 高爐に例をとり昭和 16 年上半期の平均 D.R% を求むれば

コークス消費量 807 t/day

送風量 (送風機側) 1,612 m<sup>3</sup>/mn

高爐送風機間の漏風を 4% とすれば

1,612 × 0.96 = 1,548 m<sup>3</sup>/mn

第 1 圖より D.R% は約 12.5% となる.

以上の結論として装入物が正狀に下降しつつある時の装入回數の最低限界は風量に比例し, 最低限界以上の増減は D.R% の多少に依りて生ずる現象と見做す事が出来る.

### III. コークスの直接還元率 (D.R%) と 發生ガスとの關係

前計算に於て 100% 間接還元即ち D.R% 0 の時のコークス 1t に要する風量は 3,157 m<sup>3</sup> なる故 1 分間 1,000 m<sup>3</sup> の送風量が消費するコークス量は

1,000 / 3,157 = 317 kg

2% の煙塵量を控除し C 量を求むれば

317 × 0.98 × 0.78 = 242 kg

鉄鐵中に入る C 量は

317 × 0.04 = 13 kg..... (コークス比 1.0)

ガス化する C 量は

242 - 13 = 229 kg

CO ガスとしての容量に換算すれば

$$(22.4 \times 229) / 12 = 427 m^3$$

石灰石より  $CO_2$  ガスの放出量を求めれば、洞岡に於ける実績より銑鐵施當石灰石使用量 500 kg, 石灰石の  $CO_2$  含有量 44% である。

$$317 \times 0.5 \times 0.44 = 70 kg$$

$CO_2$  ガスとして容量に換算すれば

$$(22.4 \times 70) / 44 = 36 m^3$$

空気中の  $N_2$  の容量は 79.2% である故 1,000  $m^3$  の衝風中の  $N_2$  量は 792  $m^3$  である。1,000  $m^3$  の衝風に對する理論的ガス發生量は

爐床で C が燃焼して發生する CO ガス量 427  $m^3$

石灰石の分解に依つて生ずる  $CO_2$  ガス量 36  $m^3$

衝風中の  $N_2$  量 792  $m^3$

合計 1,255  $m^3$

爐頂ガス中に含有される炭化ガスの割合は

$$(427 + 36) / 1,255 = 36.89\%$$

實際操業に於ては爐頂ガス中の  $CO + CO_2$  の和は 39~41% の間を上下してゐる。此れは Fe の幾割かは C の直接還元を受けてゐる事を示してゐるものである。

次に D.R. 0%, 5%, 10%, 15%, 20% の時の送風量 1,000  $m^3$  に對する發生ガス量  $Nm^3$  を計算し第 1 表に示せば D.R. % が增加するにつれ發生量及び CO 濃度は漸次増し生産能力にも影響するものである。

第 1 表

| D.R. % | 發生ガス量       | 爐頂ガス中の $CO$ 量 | 石灰石より $CO_2$ 量 | 爐頂ガス中の炭化ガス量 |
|--------|-------------|---------------|----------------|-------------|
| 0 %    | 1,255 $m^3$ | 427 $m^3$     | 36 $m^3$       | 36.89%      |
| 5 %    | 1,281       | 452           | 37             | 38.17       |
| 10 %   | 1,307       | 476           | 39             | 39.40       |
| 15 %   | 1,338       | 504           | 42             | 40.81       |
| 20 %   | 1,372       | 536           | 44             | 42.27       |

爐頂ガスの成分から考察しても D.R. % は略 10~15% の間が行はれてゐる事が窺はれる。洞岡 3 高爐の昭和 16 年上半期の爐頂ガス平均成分は 12.5%  $CO_2$ , 0%  $O_2$ , 29.2%  $CO$ , 2.5%  $H_2$ , 0.1%  $CH_4$

$CO_2 + CO = 12.5\% + 29.2\% = 41.7\%$  では高すぎる觀があるも、これは夏期である故衝風中の水分が分解して  $CO$  を發生してゐる故此の量を控除すれば略 40% 前後となり D.R. % は 12~13% 附近である事が認められる。

#### IV. コークスの直接還元率 (D.R.%) と 出銑量との關係

爐内に於ける鐵鑛石の還元物質が C, CO 以外に存在しないとすれば高爐の生産能力は兩者の鐵還元量の和と見做す

事が出来る。今送風量 1,000  $m^3/mn$  を基礎として 100% 間接還元即ち D.R. % 0, 爐頂ガス中の  $CO_2$  含有量 14% (現在洞岡の高爐の最高到達限界値) の時の出銑量を理論的に求めれば、第 1 表より D.R. % 0% の時のガス發生量は 1,255  $m^3/mn$  である故、

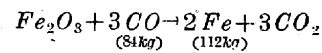
$$CO_2 \text{ ガス量は } 1,255 \times 0.14 = 176 m^3$$

石灰石よりの  $CO_2$  量を控除すれば

$$176 m^3 - 36 m^3 = 140 m^3$$

爐床部で發生した 427  $m^3/mn$  の CO ガス中 140  $m^3/mn$  が上昇途中鐵鑛石を還元して  $CO_2$  ガスになつた事になる。

鐵鑛石を全部  $Fe_2O_3$  の赤鐵鑛と假定すれば反應式は



140  $m^3$  の CO ガスが還元生成する Fe 量は

$$(112 \times 28 \times 140) / (84 \times 22.4) = 233 kg$$

1 日の鐵生成量とし銑鐵量に換算すれば

$$(233 \times 1,440) / (0.93) = 360,774 kg$$

爐内で直接還元が全く行はれず全部 CO ガスの還元のみで鐵が還元されるとすれば 1,000  $m^3/mn$  の衝風を送る高爐でも 1 日の出銑量僅かに 360 t である。洞岡 3 高爐に例をとれば送風量 1,548  $m^3/mn$  である故出銑量は

$$360,774 \times 1.548 = 558,478 kg \div 558 t/day$$

上記の計算にて判る如く D.R. % が極度に低下した場合は如何にガス還元がよく行はれても風量が一定ならば所謂爐内が熱くなりすぎて出銑量は著しく低下し爐の生産能力は決して擧るものではない。

次に D.R. % 12.5%,  $CO_2$  14% の時の出銑量を求めれば

D.R. % 12.5% の時の 1 日 コークス消費量 (風量 1,000  $m^3/mn$ ) は

$$x / (456 + x) = 0.125 \quad x = 57 t$$

$$456 + 57 = 513 t/day$$

1 分間の消費量は 513 / 1,440 = 356 kg/mn

直接還元で消費される C 量は

$$356 \times 0.125 \times 0.78 = 35 kg$$

C の還元反應式は  $Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 2Fe + 3CO$

(36kg)      (112kg)

C 35 kg の Fe 還元生成量は (112 × 35) / 36 = 109 kg

CO ガスの Fe 還元生成量は (第 1 表より)

$$1,323 \times 0.14 - 40.5 = 145 m^3$$

$$(112 \times 28 \times 145) / (84 \times 22.5) = 242 kg$$

1 日の銑鐵生産量は

$$\{(109+242) \times 1,440\} / 0.93 = 543,484 \text{ kg.}$$

3 高爐に例をとり風量  $1,548 \text{ m}^3/\text{mn}$  の時の出銑量は

$$543,484 \times 1.548 = 841,313 \div 841 \text{ t/day}$$

即ち同一風量を送つても D.R. 12.5% の時は 0% の時に比し出銑量  $841 - 558 = 283 \text{ t/day}$  の増加となる。

今送風量と還元割合による熔鑛爐能力を算定する一般式を作れば

$$P = \{V(D.R. + G.R.)\} / 0.93 \dots\dots\dots (1)$$

$$= 1.075 V(D.R. + G.R.) \dots\dots\dots (2)$$

P ..... 出銑量

V ..... 風量 ( $\text{Nm}^3$ )

D.R. .... C の Fe 還元生成量

G.R. .... CO ガスの Fe 還元生成量

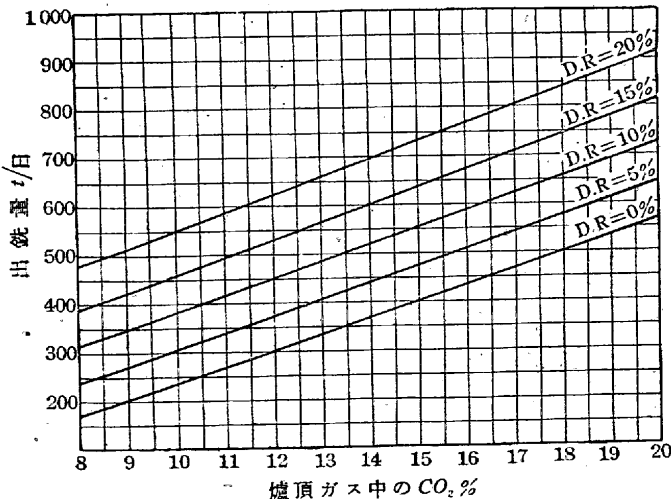
1.075 ..... 磁鐵鑛  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の混合割合が多くなるにつれ漸次係数は大となり 100% の  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の時は係数は 1.209 となる。洞岡に於ける使用原料中には  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  として約 20% 前後混入してゐる故係数は 1.1 となる

$$P = 1.1V(D.R. + G.R.) \dots\dots\dots (3)$$

(3) 式より算出し基準風量  $1,000 \text{ m}^3/\text{mn}$  に對する熔鑛爐生産能力を示せば第 2 表の如し。第 2 表をグラフに表はしたものが第 2 圖である。第 1 圖より D.R.% を求め第

第 2 表

| CO <sub>2</sub> % | 8%  | 10% | 12% | 14% | 16% | 18% | 20% |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| D.R.%             | t/日 | t/日 | t/日 | t/日 | t/日 | t/日 | t/日 |
| 0%                | 169 | 238 | 304 | 369 | 436 | 502 | 567 |
| 5%                | 234 | 304 | 372 | 439 | 507 | 575 | 642 |
| 10%               | 312 | 380 | 450 | 518 | 586 | 656 | 724 |
| 15%               | 388 | 459 | 531 | 600 | 672 | 743 | 814 |
| 20%               | 478 | 550 | 624 | 695 | 768 | 840 | 911 |



第 2 圖

2 圖の CO<sub>2</sub> 線と合せ左側の出銑量を讀めば送風量 1,000

$\text{m}^3/\text{mn}$  に對する出銑量を見出す事が出来る。此の出銑量に各 1 分間實際送風量を乗すれば各高爐の出銑量が判明する。今洞岡 3 高爐の實績をグラフに依つて求めた出銑量と比較して見よう。

〔例 1〕 昭和 16 年上半期の實績

(1) 平均コークス消費量  $807 \text{ t/day}$

(2) 平均送風量  $1,612 \text{ m}^3/\text{mn}$

高爐, 送風機間の漏風を 4% とすれば

$$1,612 \times 0.96 = 1,548 \text{ m}^3/\text{mn}$$

(3) 爐頂ガス中の平均 CO<sub>2</sub> 含有量 12.5%

(4) 平均出銑量  $794 \text{ t/day}$

第 1 圖より D.R.% を求むれば 約 12.5%

第 2 圖より出銑量を求むれば  $510 \text{ t/day}$

$1,548 \text{ m}^3/\text{mn}$  の風量に對する出銑量は

$$510 \times 1.548 = 789 \text{ t/day}$$

實際出銑量との差  $794 - 789 = 5 \text{ t}$

僅かに 5 t の差である。

〔例 2〕 洞岡 3 高爐の最も成績良好なりし 16 年 5 月に例をとれば

(1) 平均コークス消費量  $847 \text{ t/day}$

(2) 平均送風量  $1,668 \text{ m}^3/\text{mn}$

$$\text{有効送風量 } 1,668 \times 0.96 = 1,601 \text{ m}^3/\text{mn}$$

(3) 爐頂ガス中平均 CO<sub>2</sub> 含有量 13.2%

(4) 平均出銑量  $891 \text{ t/day}$

第 1 圖より D.R.% は 14%

第 2 圖より出銑量は  $555 \text{ t/day}$

$1,601 \text{ m}^3/\text{mn}$  に對する出銑量は

$$555 \times 1.601 = 889 \text{ t/day}$$

實際出銑量との差  $891 - 889 = 2 \text{ t}$

僅かに 2 t の差である。

〔例 3〕 洞岡 3 高爐に於ける爐頂ガスの最も良好なりし 16 年 3 月の例をとれば

(1) 平均コークス消費量  $832 \text{ t/day}$

(2) 平均送風量  $1,740 \times 0.96 = 1,670 \text{ m}^3/\text{mn}$

(3) 爐頂ガス中の平均 CO<sub>2</sub> 含有量 13.8%

(4) 平均出銑量  $819 \text{ t/day}$

第 1 圖より D.R.% は 9%

第 2 圖より出銑量は  $495 \text{ t/day}$

$1,670 \text{ m}^3/\text{mn}$  の風量に對する出銑量は

$$495 \times 1.670 = 827 \text{ t/day}$$

實際出銑量との差は  $819 - 827 = 8 \text{ t}$

僅かに 8t の差である。

以上の例の示す如く実績と殆ど一致してゐる。懸滞その他の障害なく順調なる操業状態の場合は他の月に於ても殆ど一致してゐる。風量及びコークス量を正確に測定し得れば當然一致すべきものである。

V.  $P=1.1V(D.R+G.R)$  式の吟味

P 即ち出鉄量を増大させるためには V, D.R%, G.R% の3者を大にする事である。然るに此の3者は或る一定限界値を有し此の限界値を知る事に依り高爐の最大能力を窺知する事が出来る。

1. 風量 (V) の限界値

風量は先づ送風機關の性能に依つて決定される。洞岡に於けるタービン・ターボ送風機の最大送風量は約 2,200N  $m^3/mn$  である。又送風量は装入物特にコークスの潰裂強度及び粒度、粉コークスの混入程度に支配されること大きく潰裂強度 90% 以下に低下し又は粒度が小になれば風壓上

昇し懸滞の現象を生じ風量の低下を餘儀なくされる。1,000 越高爐に對してはドラムテストに於て少くとも潰裂強度 90% 以上、50mm 以上の塊コークス 40% 以上を必要とするものである。現在のコークスに對しては最大風量  $1,800m^3/mn$  前後と認められる。コークスに於て上記の規格を保ち鑛石を整備し得れば送風機の最大能力たる  $2,200m^3/mn$  は充分送り得るものである。

2. ガス還元率 (G.R%) の限界値

Austin 氏の  $CO_2+CO$  の平衡圖に依れば  $CO:CO_2=49:51=0.96$  の比で  $Fe_3O_4$  の存在下で平衡に達すると述べてゐる。この説に従ひ爐頂ガス中の  $CO_2+CO=40%$  とすればガス中の  $CO_2$  含有最大限界は約 20% である。外國に於けるシャフト内の上昇ガスの測定結果に依れば鑛石密度の最大なる爐壁と中央部との間の部分は  $CO_2$  含有量 18~19% を示し殆ど平衡値に達してゐる。然るに中央部及び爐壁周縁は比較的鑛石密度薄くしてガスの抵抗少なきに依り多量のガスが上昇し  $CO_2$  含有量も 10% 前後の低きを

第 3 表 熱 平 衡 表

| CO <sub>2</sub> % | D.R% | 風 量     |             | 鉄鐵砲<br>當風量 | 鉄鐵砲<br>當風量 | コークス<br>當風量 | ガス化<br>する炭<br>素量 | CO <sub>2</sub> となる |     | CO となる    |       | 發熱量<br>の 和 | 鉄鐵砲當<br>過 不足 量 | 必 要<br>送風溫度 |           |       |
|-------------------|------|---------|-------------|------------|------------|-------------|------------------|---------------------|-----|-----------|-------|------------|----------------|-------------|-----------|-------|
|                   |      | 出鉄量     | コークス<br>消費量 |            |            |             |                  | 炭 素<br>の 割 合        | 炭素量 | 發熱量       | 炭素量   |            |                |             | 發熱量       |       |
| 8%                | 0%   | 169,000 | 456,000     | 2,698      | 8,521      | 618         | 2,022            | 14.9%               | 303 | 2,448,240 | 1,719 | 4,139,352  | 6,587,592      | +           | 3,287,592 | —     |
|                   | 5%   | 234,000 | 480,000     | 2,051      | 6,154      | 813         | 1,528            | 14.38               | 220 | 1,777,600 | 1,308 | 3,149,664  | 4,927,264      | +           | 1,627,264 | —     |
|                   | 10%  | 312,000 | 506,667     | 1,624      | 4,615      | 1,027       | 1,202            | 13.87               | 167 | 1,349,360 | 1,035 | 2,492,280  | 3,841,640      | +           | 541,640   | —     |
|                   | 15%  | 388,000 | 536,470     | 1,383      | 3,711      | 1,206       | 1,017            | 12.90               | 131 | 1,058,480 | 886   | 2,133,488  | 3,191,968      | -           | 108,032   | 95    |
|                   | 20%  | 478,000 | 570,000     | 1,192      | 3,013      | 1,398       | 871              | 12.31               | 107 | 864,560   | 764   | 1,839,712  | 2,704,372      | -           | 595,728   | 627   |
| 10%               | 0%   | 238,000 | 456,000     | 1,958      | 6,050      | 870         | 1,457            | 21.08               | 307 | 2,480,560 | 1,150 | 2,769,200  | 5,249,760      | +           | 1,949,760 | —     |
|                   | 5%   | 304,000 | 480,000     | 1,579      | 4,737      | 1,056       | 1,167            | 20.13               | 235 | 1,898,800 | 932   | 2,244,256  | 4,143,056      | +           | 843,056   | —     |
|                   | 10%  | 380,000 | 506,667     | 1,333      | 3,789      | 1,250       | 979              | 19.33               | 189 | 1,527,120 | 790   | 1,902,320  | 3,429,440      | +           | 129,440   | —     |
|                   | 15%  | 459,000 | 536,470     | 1,169      | 3,137      | 1,426       | 854              | 18.25               | 156 | 1,260,480 | 698   | 1,680,984  | 2,941,264      | -           | 358,736   | 425   |
|                   | 20%  | 550,000 | 570,000     | 1,036      | 2,618      | 1,609       | 752              | 17.35               | 130 | 1,050,400 | 622   | 1,497,776  | 2,548,176      | -           | 751,824   | 877   |
| 12%               | 0%   | 304,000 | 456,000     | 1,500      | 4,737      | 1,111       | 1,107            | 26.93               | 298 | 2,407,840 | 809   | 1,948,072  | 4,355,912      | +           | 1,055,912 | —     |
|                   | 5%   | 372,000 | 480,000     | 1,290      | 3,871      | 1,292       | 946              | 25.89               | 245 | 1,979,600 | 701   | 1,688,008  | 3,667,608      | +           | 367,608   | —     |
|                   | 10%  | 450,000 | 506,667     | 1,126      | 3,200      | 1,481       | 820              | 24.79               | 203 | 1,640,240 | 617   | 1,485,756  | 3,125,976      | -           | 174,024   | 174   |
|                   | 15%  | 531,000 | 536,470     | 1,010      | 2,712      | 1,650       | 732              | 23.71               | 173 | 1,397,840 | 559   | 1,346,072  | 2,743,912      | -           | 556,088   | 649   |
|                   | 20%  | 624,000 | 570,000     | 913        | 2,308      | 1,826       | 658              | 22.57               | 149 | 1,203,920 | 509   | 1,225,672  | 2,429,592      | -           | 870,408   | 1,131 |
| 14%               | 0%   | 369,000 | 456,000     | 1,236      | 3,902      | 1,349       | 905              | 32.79               | 297 | 2,399,760 | 608   | 1,464,064  | 3,863,824      | +           | 563,824   | —     |
|                   | 5%   | 439,000 | 480,000     | 1,093      | 3,280      | 1,525       | 795              | 31.42               | 250 | 2,020,000 | 545   | 1,312,360  | 3,332,360      | +           | 32,360    | —     |
|                   | 10%  | 518,000 | 506,667     | 978        | 2,780      | 1,705       | 707              | 30.25               | 214 | 1,729,120 | 493   | 1,187,144  | 2,916,264      | -           | 383,736   | 440   |
|                   | 15%  | 600,000 | 536,470     | 894        | 2,400      | 1,864       | 643              | 28.77               | 185 | 1,494,800 | 458   | 1,102,864  | 2,597,664      | -           | 702,336   | 895   |
|                   | 20%  | 695,000 | 570,000     | 820        | 2,072      | 2,033       | 587              | 27.61               | 162 | 1,308,960 | 425   | 1,023,400  | 2,332,360      | -           | 967,640   | 1,376 |
| 16%               | 0%   | 436,000 | 456,000     | 1,046      | 3,303      | 1,594       | 760              | 38.64               | 294 | 2,375,520 | 466   | 1,122,128  | 3,497,628      | +           | 197,648   | —     |
|                   | 5%   | 507,000 | 480,000     | 947        | 2,840      | 1,761       | 684              | 37.17               | 254 | 2,052,320 | 430   | 1,035,440  | 3,087,760      | -           | 212,240   | 241   |
|                   | 10%  | 586,000 | 506,667     | 865        | 2,457      | 1,928       | 621              | 35.71               | 222 | 1,793,760 | 399   | 960,792    | 2,754,552      | -           | 545,448   | 693   |
|                   | 15%  | 672,000 | 536,470     | 798        | 2,143      | 2,088       | 570              | 34.12               | 194 | 1,567,520 | 376   | 905,408    | 2,472,928      | -           | 827,072   | 1,158 |
|                   | 20%  | 768,000 | 570,000     | 742        | 1,875      | 2,246       | 527              | 32.84               | 173 | 1,397,840 | 354   | 852,432    | 2,250,272      | -           | 1,049,728 | 1,620 |
| 18%               | 0%   | 502,000 | 456,000     | 908        | 2,869      | 1,835       | 654              | 44.50               | 291 | 2,351,280 | 363   | 874,104    | 3,225,334      | -           | 74,616    | 84    |
|                   | 5%   | 575,000 | 480,000     | 835        | 2,504      | 1,997       | 598              | 42.70               | 255 | 2,060,400 | 343   | 825,944    | 2,886,344      | -           | 413,656   | 518   |
|                   | 10%  | 656,000 | 506,667     | 772        | 2,197      | 2,157       | 550              | 41.18               | 226 | 1,826,080 | 324   | 780,192    | 2,606,272      | -           | 693,728   | 961   |
|                   | 15%  | 743,000 | 530,470     | 722        | 1,938      | 2,309       | 512              | 39.48               | 202 | 1,632,160 | 310   | 746,480    | 2,378,640      | -           | 921,360   | 1,231 |
|                   | 20%  | 840,000 | 570,000     | 679        | 1,714      | 2,457       | 479              | 37.87               | 181 | 1,462,480 | 298   | 717,584    | 2,180,064      | -           | 1,119,936 | 1,847 |
| 20%               | 0%   | 567,000 | 456,000     | 824        | 2,540      | 2,073       | 590              | 50.35               | 297 | 2,399,760 | 293   | 705,544    | 3,105,304      | -           | 194,696   | 248   |
|                   | 5%   | 642,000 | 480,000     | 748        | 2,243      | 2,230       | 532              | 48.45               | 258 | 2,084,640 | 274   | 659,792    | 2,744,432      | -           | 555,568   | 768   |
|                   | 10%  | 724,000 | 506,667     | 700        | 1,989      | 2,382       | 495              | 46.64               | 231 | 1,866,480 | 264   | 635,712    | 2,502,192      | -           | 797,808   | 1,192 |
|                   | 15%  | 814,000 | 536,470     | 659        | 1,769      | 2,529       | 464              | 44.84               | 203 | 1,680,640 | 256   | 616,448    | 2,297,088      | -           | 1,002,912 | 1,633 |
|                   | 20%  | 911,000 | 570,000     | 626        | 1,581      | 2,664       | 438              | 42.91               | 188 | 1,519,040 | 250   | 602,000    | 2,121,040      | -           | 1,178,960 | 2,073 |

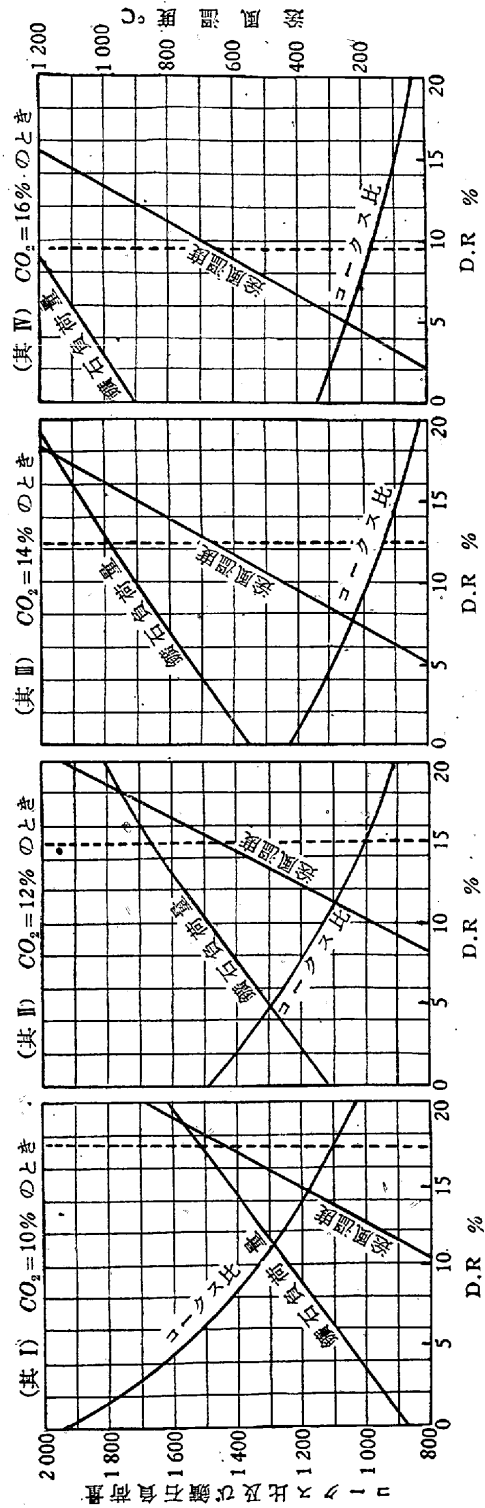
示してゐる。若し鑛石の理想的分布が出来、ガスが均一に昇り得るものとすれば平衡値に近い  $CO_2$  が現はれるものと想像される。洞岡に於ける  $CO_2$  量は 12~14% にして還元率は理論値の約 60~70% である。鑛石の大きさを整備したる獨米の優秀高爐は  $CO_2$  14~16% 現はれ還元率 70~80% を示してゐる。洞岡に於ても塊鑛は破碎、粉鑛は團鑛にし分布の均一を期し得れば  $CO_2$  14~16% までは充分現はし得るものと信ずる。

3. 直接還元率 (D.R%) の限界値

C の直接還元反應は吸熱なる故多量の熱を要し或る限界を超えると爐内の熱平衡を破り冷却の原因をなすものである。又 C の直接還元はコークス比の低下を著しく促進し出銑量を増大するため出熱量は大となり益々熱不足を來たすものである。此の不足熱量は衝風を豫熱する事により或る程度までは補ひ得るも熱風爐の豫熱能力に限度がある故 D.R% も必然的に一定限界値を有する事になる。又此の限界値も水平的に一定のものではなくコークス比の低下と共に低下するものである。此の現象は重装入にしガス中に  $CO_2$  が高く現れる時は装入速度は概して緩となり、平常より僅か數回回数が速くなつても爐内冷え氣味となる事はよく經驗する事である。是れに反しガス中に  $CO_2$  分低くコークス比の高い時は装入速度は概して速いものである。

又 D.R% の限界値の上下の動きは銑鐵 1t を吹製するに要する熱量の大小と熱風爐の豫熱能力に支配されるものである。銑鐵 1t 吹製するに要する熱量は其の使用コークスの灰分、鑛石の品位及び品質に依つて大いに違ひ我が國に於ては大略 3,000,000~3,500,000 kcal の間である。所要熱量が大となれば D.R% の限界値は低くなり小となれば高くなり豫想以上の能力を發揮するものである。ドイツに於ては灰分 10% 前後のコークスを使用し鑛石を整備して D.R% を 15~20% 行はせ我が國の 700 噸級高爐で裕に 1000t を突破する成績を擧げてゐる。又ソ聯に於ても同様な成績を擧げてゐる。洞岡に於ても戦前のコークス灰分 18% 前後、鑛石品位 55~58% の原料を使用してゐた時は D.R% 上昇のため同一風量を送つても 1日装入回数 120~130 回 (コークス 7,500kg) 行つてゐたものが現在は灰分 20% 前後、鑛石品位 50~53% に低下し、且又品質が珪酸質に富む故、石灰石の添加量増大し、ために D.R% は著しく低下し装入回数は 1日 100~110 回に減少してゐる。

第3表は洞岡3高爐を基礎としてコークスの固定炭素



第 3 圖

78%, 鑛石 1t の銑鐵歩留 600kg, (平爐滓を含む)銑鐵 1t に要する石灰石使用量 500kg, 銑鐵 1 噸當り所要熱量を 3,300,000 kcal と假定して行つた熱平衡表である。

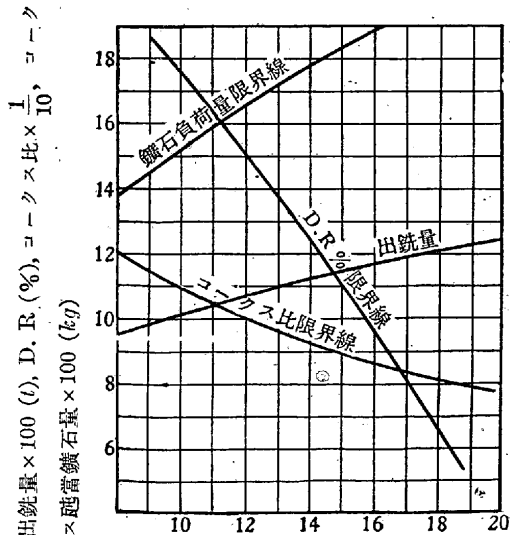
第3圖は爐頂ガス中の  $CO_2$  と D.R%, コークス比、鑛石負荷量の限界値の關係を示すものである。點線が熱平衡境界線で熱風爐の豫熱最高能力は 650°C である。操業可能範圍は點線より左側である。

洞岡3高爐の現在の操業状態は送風温度 550~650°C, コ

ークス砲當鑛石負荷量 1,750~1,770 kg (乾燥量), コークス比 0.95~1.00, D.R% 10~13% を示し  $CO_2$  12~14% のガスに対しては操業能率孰れも 90% 以上を示してゐる。

4. 爐頂ガス中の  $CO_2$  量と各最大限界値の關係

$CO_2$  量を基礎として第3圖中の點線と各限界線の交點を



第4圖 爐頂ガス中の  $CO_2$  %  
(送風温度 650°C)

以て作つたのが第4圖である。即ち熔鑛爐の理論的最高能力限界線である。

出銑量は送風量  $2,000 m^3/min$  の時の最大限界線である。

VI. 結 論

以上述べた事に依り熔鑛爐の能力は風量, 直接還元率, ガス還元率の3者によつて決定しコークス比は兩還元率によつて決定するものである。又3者の限界値は各國又は各地方的條件によつて各々異なり同型の高爐に於ても其の能力に大なる差違を生ずるものである。此の3者を吟味, 検討する事に依り能力増進に資する事が出来る。即ち風量に對してはコークスの強度及び大きさを吟味し, ガス還元率に對しては塊鑛石の破碎, 粉鑛石は焼成團鑛となし分布の理想化を期し, 直接還元率に對してはコークスの灰分の低下に勉め又鑛石の配合を吟味し石灰石の添加量, 造滓量の低下に勉めれば出銑量は限界値の90%以上まで達する事が可能である。

アンモニヤガス分解率の窒化層に及ぼす影響 (抄録)

(尾形康夫: 三菱重工名發研報 4 (昭. 16) 615) 各温度に於て分解率 (排氣中分解に依つて成生せる  $N_2 + H_2$  の%) を變化して窒化するイ-111 鋼試片に就て各窒化層の組織, 硬化状態, 耐蝕性を調査して, 分解率の窒化層に及ぼす影響を見たが, 窒化層の表層に窒化物の固溶體  $\epsilon$ -相を成生する平衡以上の  $NH_3$  濃度に於ては内部への  $N_2$  の擴散條件一様となる爲に分解率の相違は表層に生成する  $\epsilon$ -相の厚さに幾分の變化を見るのみで主要窒化層の硬化状態・耐蝕性並に組織等の諸性質には殆ど影響がない。而して窒化層の表層に  $\epsilon$ -相を成生せしむるに足る分解率の限界は大體窒化温度  $500^\circ C$  で 50%,  $530^\circ C$  で 58%,  $550^\circ C$  で 61%,  $575^\circ C$  で 65% である。これ以上の分解率では窒化作用甚だしく低下し, 硬化状態その他に急激な變化を見せる。

通常  $500^\circ C$  附近の窒化温度では分解率が 20~35% で操作されてゐるが, この範囲内での分解率の變動は窒化層の性質に全く影響を及ぼさないものと考へて差支ない。

滲炭層の深さと機械的性質の關係 (第1報) (抄録)

(秋月三郎: 三菱重工名發研報 5 (昭 17) 47) イ-211 鋼 ( $0.15 C, 4 Ni, 1.5 Cr, 1 W, 0.2 Mo$ ) を  $15 mm \phi \times 250 mm$  に鍛造, 燒準後抗張試片 ( $7 mm \phi$ ) 及びシャルピー試片 ( $10 mm \square$ ) 採取, 肌燒 ( $900^\circ C$  滲炭, 函共空冷;  $650^\circ C - 12 h$  燒鈍, 函共空冷 2 回;  $850^\circ C - 0.5 h$  空冷, (イ)  $160^\circ C$ , (ロ)  $150^\circ C$ , (ハ)  $200^\circ C - 4 h$  油煮) せるものと燒入燒戻 ( $850^\circ C - 0.5 h$  空冷; (イ)  $100^\circ C$ , (ロ)  $150^\circ C$ , (ハ)  $200^\circ C - 4 h$  油煮) せるものに就き抗張, 衝擊及び硬度試験をなした。但滲炭深さは 0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5 mm と變化せしめた。

之に依つて次の結論を得られた。

1. 降伏點及び抗張力は或る滲炭層の深さ迄は (之は試片の太さに關係するものと思はれるが本試験では 0.8 mm) 層の厚みが増すに従ひ僅か乍ら増加するも, 夫以上の深さになると逆に低下の傾向を示す事, 並に殼の硬度數は層の深さに無關係に一定なる事より考へて無條件に滲炭層を深くする事は何等益なきもので寧ろ耐磨減性及び靜的強度向上の點からは殼の厚さを 0.8 mm 以内に止める事が賢明である。

2. 衝擊値及び伸び, 絞は滲炭の爲急減し, その後も深さの増すと共に低下する (深さと共にその割合は漸時緩慢になるが) 故過負荷状態で使用する部分の表面硬化は避くべきで, 止むを得ない場合は許し得る範囲内で滲炭層を淺くし, 靱性の維持及び應力集中の回避に努むべきである。

3. 滲炭材の靜的及び衝擊値の性質を増加せしめる一手段として燒戻温度の上昇が考へられるが, 一方殼部の硬度は低下するもの故燒戻の温度は後日歪の發生防止に備へる程度, 即ち  $150 \sim 200^\circ C$  の範囲に止めた方が有效である。

4. 即ち滲炭處理は表面硬度の増加による磨減の防止 又は靜的荷重に對する安全率の増加と云ふ點には効果があるが, 延性及び靱性の低下する欠點が伴ふ爲に表面の耐磨減性と心部の靱性保留の 2 條件を同時に満足せしめる事は困難である。

併し乍ら以上の結論より考へて滲炭層の深さを 0.8 mm 以内に, 又燒戻温度を  $150^\circ$  より  $200^\circ C$  前後に止める事によりかなりの範囲迄滲炭の主意に沿ふ事が出来る。