

Fig. 2. Reduction process of Korean iron ore.

しく析出炭素のほとんどが solution 反応にあずかるものと考えられる。

### (3) 水性ガス

鉱石の結合水の気化によつて起る水性ガス反応はゴアSK 鉱の場合には 270~580°C の間で、また韓国鉱では 270~450°C の間でそれぞれ認められるが反応によつて生成される  $H_2^W$ ,  $CO_2^W$  は前者の方がはるかに多い。これは両者の結合水量の相違に基づくものである。

## V. 結 言

以上の結果を要約すると、

(1) 鉄鉱石を ( $CO+H_2+N_2$ ) ガスによつて 200~1100°C の間で還元する場合  $CO$ ,  $H_2$  による還元以外に Boudouard 反応、水性ガス反応が認められた。

(2)  $CO$  による還元は比較的低温側で、 $H_2$  による還元は高温側で行なわれ、これらの還元の開始温度は鉱石の被還元性、結合水量に関係するものと考えられる。

(3) Boudouard 反応は 280~1030°C の間で行なわれるが析出炭素のほとんどが solution 反応にあずかる。

(4) 鉱石中の結合水が気化することによつて行なわれる水性ガス反応は 270~540°C の範囲で起るが反応量は結合水量に左右される。

## (7) 高炉内のガスとくに水素の挙動について

(高炉燃料吹込みに関する基礎的研究—II)

神戸製鋼所神戸工場

杉沢英男・松尾英一・○小島勢一

〃 中央研究所

国井和扶・喜多島正治

## On the Behavior of Injected Gases, Especially Hydrogen.

(Fundamental study on fuel injection into blast furnaces— I )

Hideo SUGIZAWA, Eiichi MATSUO,

Seiichi KOJIMA, Kazuo KUNII

and Masaharu KITAJIMA

## I. 緒 言

前報(第I報)に述べたように高炉の調湿操業や燃料吹込みに関連して炉内における  $H_2$  の挙動とくに還元に対する利用度を正しく把握することが重要であるので前報の鉄鉱石の還元過程の解析結果から炉内におけるガス組成の変化を考察するとともに灘浜第1高炉の調湿操業実績から  $H_2$  還元に対する考え方を明らかにした。

## II. 高炉内のガス組成の変化

高炉内を通過するガス組成の変化を定性的に示すと Fig. 1 のようになる。

### (1) $N_2$

羽口に入つてから炉頂より出るまで量的な変化はない。

### (2) $CO$ および $CO_2$

羽口前で生成した  $CO$  は溶解帯での直接還元の結果さらに増えその後  $CO$  による間接還元が始まり  $CO_2^B$  が生成するが solution 反応も行なわれ  $CO$  は若干減少する(図中- $CO_2^B$ )、またこの反応は容積が増えるので ( $CO+CO_2$ ) は増加する。このように間接還元を行ないながら炉内を上昇し 700~300°C の領域に入ると  $CO$  の分解反応が起こり  $CO$  の一部は  $CO_2^B$  になりまた ( $CO+CO_2$ ) は減少する。

またシャフト上部では石灰石、鉱石中の炭酸塩の分解により  $CO_2^K$  が発生し  $CO_2$  および ( $CO+CO_2$ ) は増加する。400°C を中心として水性ガス反応も行なわれ  $CO_2^W$  が生成し  $CO_2$  は増加する。そして 200°C 付近になるとすべての反応速度が低下しそのまま炉頂ガスとして出て行くものと推定される。

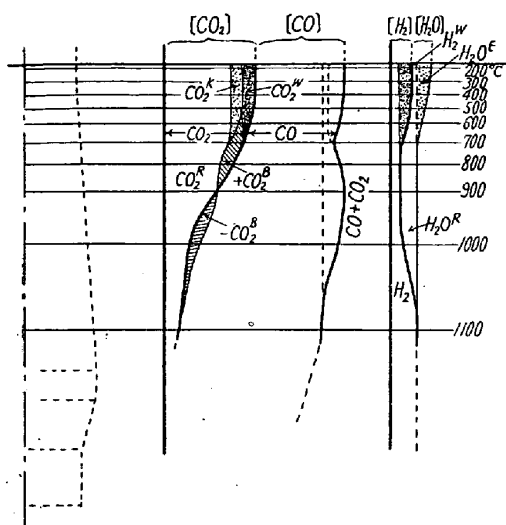


Fig. 1. Typical change in gas composition in the blast furnace.

(3) H<sub>2</sub>

羽口前で生成した H<sub>2</sub> は炉内を上昇する過程で 470~560°C 付近まで還元に働き H<sub>2</sub>O<sup>R</sup> に変化しつつ炉頂に達するものと考えられる。一方装入物によつて炉内に運び込まれた水分はただちに気化し H<sub>2</sub>O<sup>E</sup> となり一部は CO と水性ガス反応を起こし H<sub>2</sub><sup>W</sup> となり炉頂に達するものと思われる。

以上のように炉内での反応過程よりガス組成の変化を考えると炉頂ガスの組成は複雑な反応の生成の積分されたものといえよう。

III. 高炉内における水素の挙動について

(1) H<sub>2</sub> の還元に対する利用率

灘浜第 1 高炉では調湿操作を実施し炉況の安定に対しては所期の成果を挙げているが炉頂ガスの H<sub>2</sub> の変動が大きく H<sub>2</sub> の分析値より算出した H<sub>2</sub> の還元利用率 ( $\eta_{H_2}$ ) は 5~60% の広範囲に変化し H<sub>2</sub> の還元作用については疑問を持たざるを得ない実状である。しかし H<sub>2</sub> 還元によつて生成した H<sub>2</sub>O<sup>R</sup> は CO と反応しふたたび H<sub>2</sub> に転化しこの結果見掛けの  $\eta_{H_2}$  が低くなつていことが想像されるので H<sub>2</sub> の挙動とくに  $\eta_{H_2}$  に影響する因子について検討した。

(2) H<sub>2</sub> の挙動に影響する因子について

前報の実験結果ならびに考察によれば炉内の H<sub>2</sub> に関与する反応は還元反応の他水性ガス反応が挙げられるので炉内における水性ガス反応について調べた。

この反応の平衡には CO, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> および H<sub>2</sub> の分圧が関係するのでこれらの分圧に關係する因子と  $\eta_{H_2}$  との關係を調査した代表的な例を Fig. 2, 3, 4 に示すが

水性ガス反応によつて生成される H<sub>2</sub><sup>W</sup> が  $\eta_{H_2}$  に大きい影響を与える傾向にあることが推定される。すなわち Fig. 2 に示すように直接還元量の多い場合にはシャフトを上昇するガス中の CO 分圧が高くなり水性ガス反応によつて H<sub>2</sub><sup>W</sup> が生成されやすくなつて見掛け上  $\eta_{H_2}$  が低下する。また Fig. 3 に示すごとく装入物中の水分が多くなると炉内の H<sub>2</sub>O 分圧が高くなり同様に H<sub>2</sub><sup>W</sup> が生成し H<sub>2</sub> 還元が低下する。反対に Fig. 4 に示すように石灰石装入量が増えると炉内の CO<sub>2</sub> 分圧が高くなり H<sub>2</sub><sup>W</sup> が減少しそのため  $\eta_{H_2}$  は上昇する。

IV. 高炉におけるガス還元の考え方

CO および H<sub>2</sub> は鉄石を還元する主役には相違ないが前述の考察結果によれば H<sub>2</sub> 還元の生成物の H<sub>2</sub>O<sup>R</sup> と CO との間に水性ガス反応が進んでいるため炉頂ガスの分析値からガス還元のバランスすなわち CO による還元量 ( $r_{CO}$ ) と H<sub>2</sub> による還元量 ( $r_{H_2}$ ) を区別することは

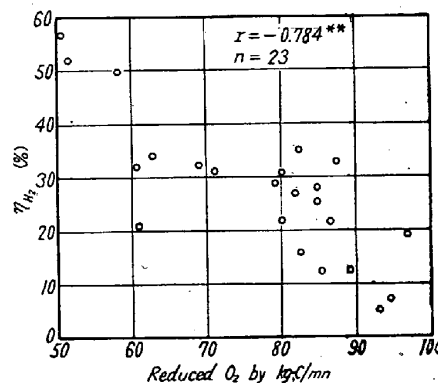


Fig. 2. Relation between the yield of hydrogen and reduced O<sub>2</sub> by kg C/mn.

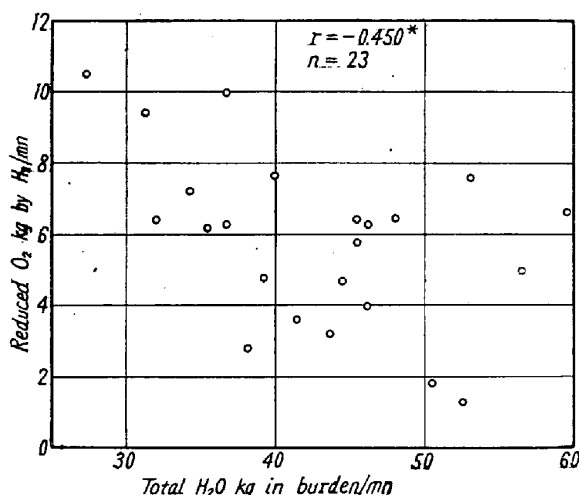


Fig. 3. Relation between the reduced O<sub>2</sub> kg by hydrogen/mn and total H<sub>2</sub>O kg in burden/mn.

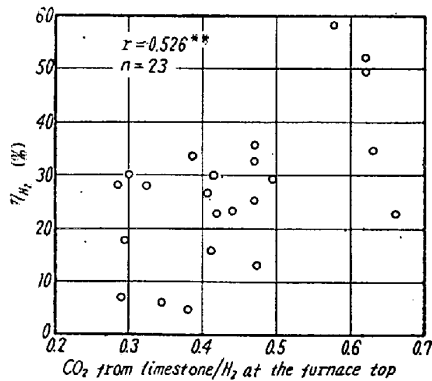


Fig. 4. Relation between the yield of hydrogen and CO<sub>2</sub> from limestone /H<sub>2</sub> at the furnace top.

困難である。

また炉内での H<sub>2</sub> 還元は高温側で活発であつて間接還元帯を高温部まで延長する効果があり CO 還元に見られない長所であるが吸熱反応であるため炉全体としての熱的レベルは低下する。したがつてこの点でもつとも効果的に行なわれるようなボッシュガス組成 (CO, H<sub>2</sub>) を見出して操業することが肝要である。

さらに炉頂ガスの分析値から算出するガス利用率も  $\eta_{CO}$ ,  $\eta_{H_2}$  を別個に取扱わず  $\eta_{(CO+H_2)}$  という形で考慮すべきと考える。

## V. 結 言

以上の結果を取纏めると、

(1) 還元試験の結果より炉内のガス反応、とくに H<sub>2</sub> の挙動について考察したが、

a) 炉頂ガス組成は還元反応およびこれに付随する複雑な反応の集積されたもので分析値から諸反応の過程を推定できない。

b) 炉内における H<sub>2</sub> の挙動とくに還元に対する利用率  $\eta_{H_2}$  は水性ガス反応の進行と密接な関係にある。

(2) a) 高炉におけるガス還元に対する考え方としては H<sub>2</sub> による還元があらゆる点で効果的に行なわれる条件 (ボッシュガス組成) で操業すべきである。

b) ガス利用率は  $\eta_{CO}$ ,  $\eta_{H_2}$  を区別せず  $\eta_{(CO+H_2)}$  として考慮すべきと結論される。

## (8) 還元ガス中の一酸化炭素、水素の還元利用率について

(高炉燃料吹込みに関する基礎的研究—Ⅲ)

神戸製鋼所神戸工場

杉沢英男・松尾英一・小島勢一

〃 中央研究所

国井和扶・〇喜多島正治

Degree of Utilization of Carbon Monoxide and Hydrogen in Reducing Gas. (Fundamental study on fuel injection into blast furnaces—Ⅲ)

Hideo SUGIZAWA, Eiichi MATSUO,

Seiichi KOJIMA, Kazuo KUNII

and Masaharu KITAJIMA

## I. 緒 言

前報 (第Ⅱ報) において述べたように高炉へ燃料を吹込む場合の問題点の1つはボッシュガス中の CO および H<sub>2</sub> の還元に対する利用率がいかなる変化を示すかということである。

とくに我国のように利用率が限界に近い状態で操業を行なっている高炉に燃料を吹込んだ場合には吹込み量如何では CO ならびに H<sub>2</sub> の還元利用率が低下する恐れがある。

そこで燃料吹込みを想定して CO および H<sub>2</sub> 含有量の異なる還元ガスによつて還元試験を行ないこれらの含有量と還元利用率との関係を調べた。

## II. 試 験 方 法

還元試験方法は第Ⅰ報に示した方法によつて行なつたが還元ガスの組成は燃料吹込みを想定して CO; 35~45%, H<sub>2</sub> 0~15% (残り N<sub>2</sub>) に変化せしめた。なお試験に用いた鉄鉱石は第Ⅰ報同様韓国鉄で 10mm ± 1mm に整粒し 30g ずつ用いた。

## III. 試 験 結 果

(1) 還元ガス中の CO, H<sub>2</sub> の還元利用率

Table 1 および Fig. 1 に示すように CO による還元量 ( $\gamma_{CO}$ , CO によつて除去された鉄石中の O<sub>2</sub> 量) および H<sub>2</sub> による還元量 ( $\gamma_{H_2}$ , H<sub>2</sub> によつて除去された鉄石中の O<sub>2</sub> 量) は還元ガス中の CO, H<sub>2</sub> 含有量の増加とともに上昇するが  $\gamma_{CO}$  は Table 1 に示すように CO 含有量の上昇とともにほぼ直線的に増加するが Fig. 1 に見られるように H<sub>2</sub> 含有量の増加によつてもわずかながら増加する。

一方  $\gamma_{H_2}$  は Fig. 1 のごとく CO 含有量にかかわら