

# 焼結鉍の向流還元および炭素析出について\*

相 馬 胤 和\*\*

## The Countercurrent Reduction of Sinter and Carbon Deposition

Tanekazu Sōma

### Synopsis:

The reduction tube which had a slit-typetuyere was used for the countercurrent reduction. The data of countercurrent reduction were plotted on the graph of the degree of reduction v. s. the gas utilization coefficient. This graph was advantageous to explain the countercurrent phenomena.

On the countercurrent reduction of sinter, the gas utilization coefficient was depended on two factors; the first was a ratio of ore descending speed to gas flow rate and the second was a contact time. When the contact time was 8.5 sec, the  $H_2$  utilization coefficient was similar to that of CO, but when the contact time was shorter, the former was larger than the latter.

With the countercurrent reduction by CO, carbon deposited fast when a ratio of ore descending speed to gas flow rate was low and a contact time was long. And with that by  $N_2+34\%$  CO, carbon deposited little.

The reduction velocity with  $N_2+34\%$  CO was mainly determined, between  $600^\circ\text{C}$  and  $900^\circ\text{C}$ .

(Received 4 Nov. 1967)

### 1. 緒 言

前報<sup>1)</sup>において内径 27 mm のステンレス鋼管にて向流還元を行ない、向流還元における定常還元率および定常利用率は(鉍石降下速度/ガス流量)とガスの接触時間により決定されることを述べた。しかし還元ガスを反応管下端より導入したため、完全な向流還元にならず、多少の誤差を含んでいたため、反応管に羽口を設け、ガス

は  $900^\circ\text{C}$  面より  $300^\circ\text{C}$  面に上昇し、鉍石は  $300^\circ\text{C}$  面より  $900^\circ\text{C}$  面に下降する完全な向流還元の条件を揃え、ガスに  $H_2$  と  $N_2+34\%$  CO の 2 種を使用し測定を行なった。また CO を使用した不完全な向流還元を行ない、鉍石が下降する途中での炭素析出速度について考察した。

### 2. 装置および方法

反応管は Fig. 1 に示すように、内管には前回の反応管と同じ内径 27 mm、肉厚 3 mm の 18-8 ステンレス鋼管を 700 mm と 600 mm に切断し、1 mm 離して 3 点を点溶接して羽口を作り、それに内径 37 mm 長さ 700 mm の外管をかぶせて両端を内管に溶接し、上端にガス導入口をつけた。

ガスはガス導入口より内外管の間 (2 mm) を予熱されながら下降し、 $900^\circ\text{C}$  基準面に置かれたスリット状の羽口より炉内に入り、鉍石層の間を上昇し、上端のシリコーンゴム栓に通されたガラス管より外に出る。

電気炉は内径 50 mm、長さ 600 mm の炉心管に上より 125 mm、125 mm におのおの 400W、250 mm に 1 kW のニクロム線を均等に巻き、上中の巻線の中心をそれぞれ  $450^\circ\text{C}$ 、 $750^\circ\text{C}$  に、下の巻線の上より 50 mm の

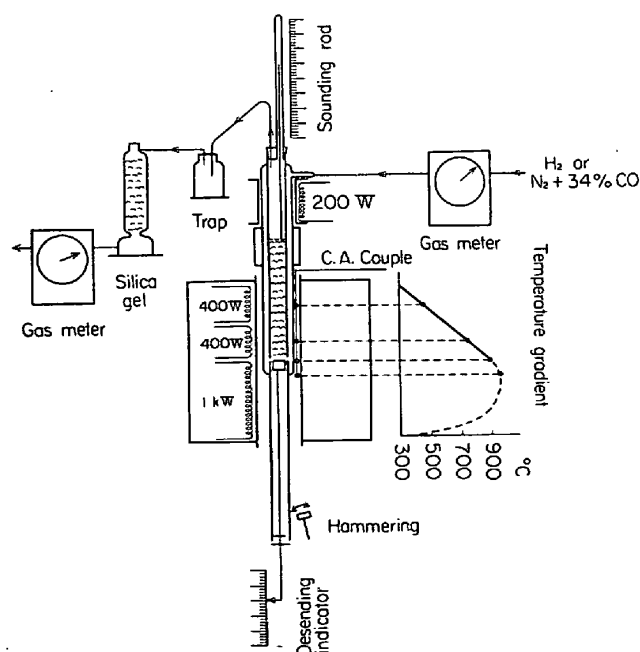


Fig. 1. Experimental apparatus.

\* 昭和42年10月 本会講演大会にて発表  
昭和42年11月 4 日 受付

\*\* 茨城大学工学部 工博

Table 1. Chemical analysis of self-fluxing sinters (%).

| Sort | T.Fe  | FeO  | SiO <sub>2</sub> | CaO   | Basicity | T.O*  |
|------|-------|------|------------------|-------|----------|-------|
| A    | 56.69 | 8.84 | 5.42             | 9.67  | 1.8      | 23.38 |
| B    | 55.9  | 8.91 | 5.20             | 11.41 | 2.2      | 22.80 |

\* Oxygen combined with iron

ところを 950°C に自動温度調節をさせ、温度勾配を羽口より上 250 mm の間を 900°C より 300°C に直線的に変化させることができ、これを還元帯とした。

鉍石は自溶性焼結鉍 2 種を使用し、その分析値を Table 1 に示す。それらの成分には大差はない。

実験方法は前報<sup>2)</sup>同様である。まず鉍石受台を 300°C 面に置いて焼結鉍 450 g (装入高さ約 380 mm) を装入し、昇温してから羽口までは比較的早く降下させ、それから還元ガスを送るとともに鉍石を所定の速度で降下させ、ガス利用率が一定になるまで還元を行なった。

ガス流量、鉍石降下速度を一定にして還元層厚の 2 ~ 3 倍降下させれば、羽口以下に下降した鉍石の還元率も還元層を出たガスの利用率も一定の値に達する<sup>4)</sup>。この値を定常還元率および定常利用率と呼ぶ。本実験においては 2 倍とすると 500 mm 降下させる必要があるが実際には装置および実験時間上の制約からガス利用率が一定値に達するところすなわち受台が羽口面より 100~150 mm 降下したところでデータをとった。これは後述するように、300~900°C の向流還元では 600~900°C 帯で

ほぼ反応速度が決定されるため比較的早く一定値に達するためである。

降下速度 1 mm/min も他のデータ同様に 100~150 mm 下ではほぼ一定値に達したのでこれを定常利用率として計算したところ、定常還元率が 110% になった。そこで降下速度がおそいと真の値まで達するのにさらに長時間必要と考え、つぎに受台が羽口上 100 mm のところから 1 mm/min の降下速度で実験を行ない、この結果を Fig. 2 に示した。図よりまだ完全に一定値に達したとはいえないが、最後の 5 点の平均値をとり定常利用率とした。

ガス利用率は前報<sup>2)</sup>同様、H<sub>2</sub> 還元では反応管上部を 140°C に加熱し、シリコーンゴムにてトラップおよびシリカゲル吸収塔に導いて脱湿し、還元前後の流量差より計算し、CO 還元では反応管前後の流量とヘンペルによる CO<sub>2</sub> 分析より計算した。

定常還元率は次式より計算した<sup>1)</sup>。

$$\rho L \times R = Q(16/22.4) \eta \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで  $\rho$ : 鉍石層単位長さあたり鉍石重量 g/mm,  $L$ : 鉍石降下速度 mm/min,  $X$ : 鉍石中 Fe と結合した酸素量(小数表示),  $R$ : 定常還元率%,  $Q$ : ガス中還元ガス流量 l/min,  $\eta$ : 定常ガス利用率%を示す。

なほ還元後の試料は反応管の下に同径で長さ 40 mm に切ったリングを 10 個つなぎ、受台を徐々に降下させ鉍石層をその中に移動してから、リングを上より 1 つずつ

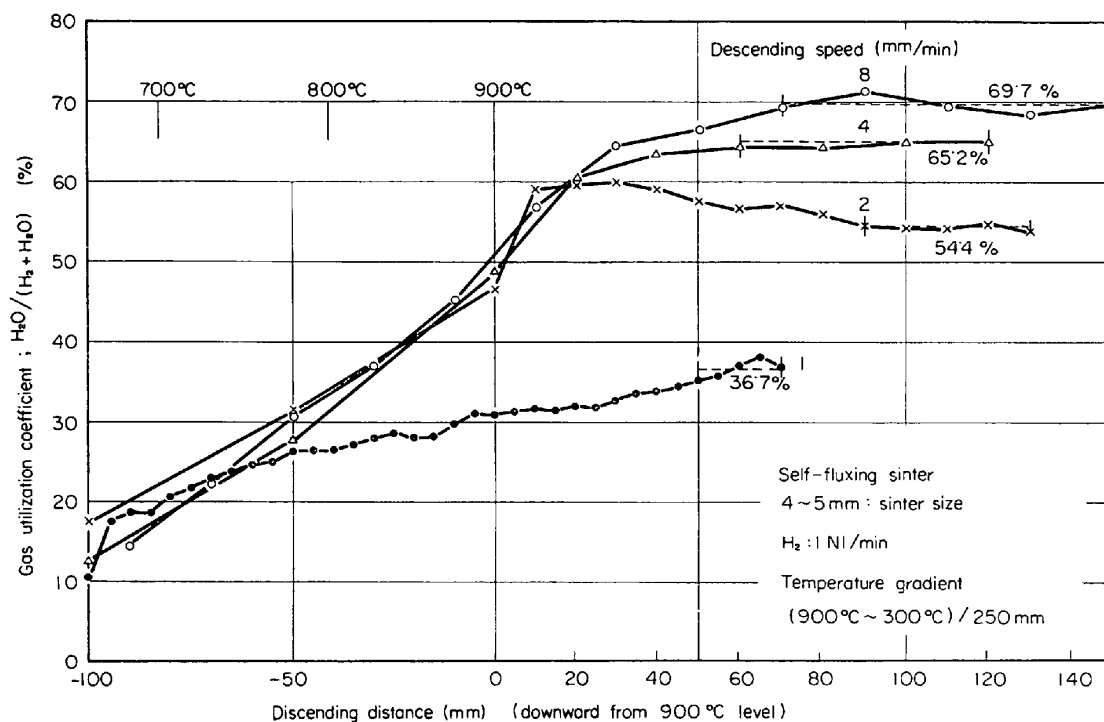


Fig. 2. Influence of descending speed on the gas utilization coefficient.

はずして 40 mm 高さの平均試料として、還元率は  $H_2$  還元法により、炭素は容量法にて分析を行なった。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 $H_2$ による向流還元

$H_2$  流量 0.5, 1, 2 Nl/min, 鉬石降下速度 1, 2, 4, 8 mm/min を組合せて実験を行なった。 $H_2$  1 Nl/min のときの  $H_2$  利用率の変化を受台の位置に対して表わしたのが Fig. 2 である。Fig. 2 は前報<sup>1)</sup>とほぼ同じ条件 (300~900°C 帯の高さが 200 mm より 250 mm に変わったことが違う) であるが羽口がついたため、とくに鉬石降下速度の大きいときでも  $H_2$  利用率が一定の値に達する。これは降下速度が大きいと定常還元率が低く、羽口がないと 900°C 基準面にきても未還元の部分が多く残っていて、ガスを反応管下端より導入したため、基準面以下でも還元が進むため一定の値にならなかったが、今回は羽口をつけたため、一定値に達しさせることができ完全な向流還元のデータが得られた。

つぎに定常還元率と定常利用率を両軸に持つ平面にプロットし、Fig. 3 に示す。前報と縦横軸を逆にしたのは固定層還元<sup>2)</sup>との関連がわかるようにしたためである。

(1) 式より

$$\eta/R = Q/1.4\rho LX \dots\dots\dots (2)$$

となり鉬石降下速度/ガス流量一定となると右辺は常数となり、原点を通る直線を示し、 $R=1$  (還元率 100%) に対するガス利用率  $\eta_1$  が決まるが、これは還元ガスの還元しうる酸素量と下降鉬石中の酸素量との比を表わ

す。

Fig. 3 にて、3 本の曲線が右端で一致し、左端に向かって放射状に開いていることと、なだらかな曲線を示し、前報の羽口のない場合とはやや異なる結果を示した。また接触時間 4.3 sec においても利用率は 50~60% とかなり高い値を示している。

#### 3.2 CO による向流還元

高炉では CO 還元が中心となつているので、高炉反応の解析のための向流還元も CO で行なわねばならない。 $H_2$  の代わりに純 CO にて羽口を通して還元を行なったところ、約 10 min で炭素析出のため完全に羽口が閉塞し CO が通らなくなつてしまった。そこで CO を反応管下端より導入し、前報<sup>1)</sup>の方法同様不完全ながら向流還元を行なった。その結果はつぎの  $N_2+34\% CO$  による結果に近い値を示した。

CO 1 Nl/min のときの還元後の試料を層別に採取し、炭素分析を行ない試料中の C% を採取位置したがつて温度に対しプロットし Fig. 4 に示す。図にて降下速度の一番おそい 1 mm/min のものが最高の C 0.5% を示したが、この程度では棚吊を起こすにはまだかなり低いようである<sup>3)</sup>。また温度 650°C でピークを示し、それ以上ではカーボンソリューションが起こつていことを示している。流量を変えたときの結果もあわせ、炭素析出は(鉬石降下速度/ガス流量)が小さいほど、接触時間が長いほど盛んになるといえる。

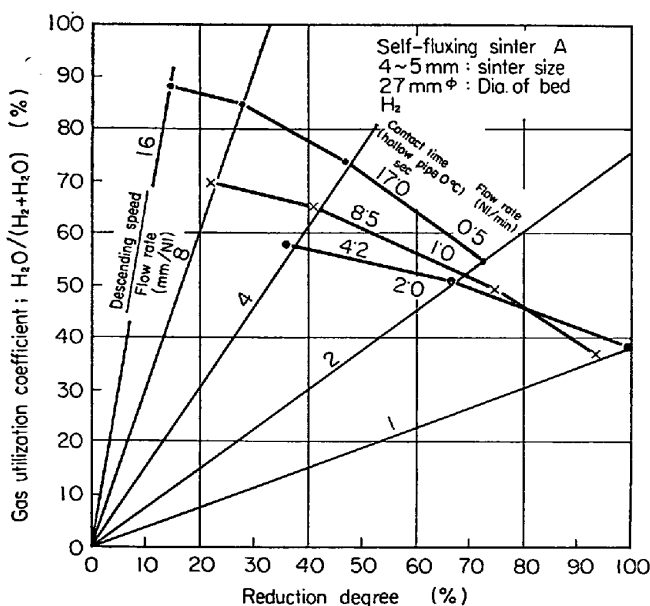


Fig. 3. Reduction degree v.s. gas utilization coefficient diagram of countercurrent reduction by  $H_2$ .

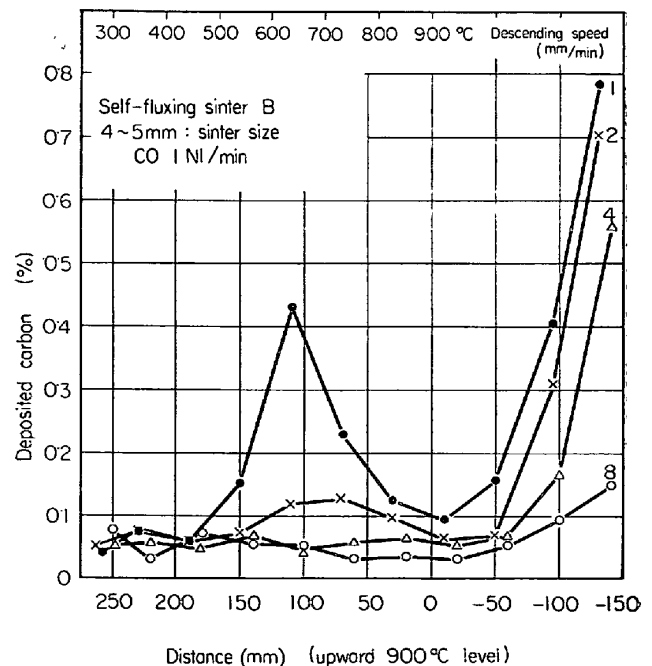


Fig. 4. Carbon deposition with countercurrent reduction.

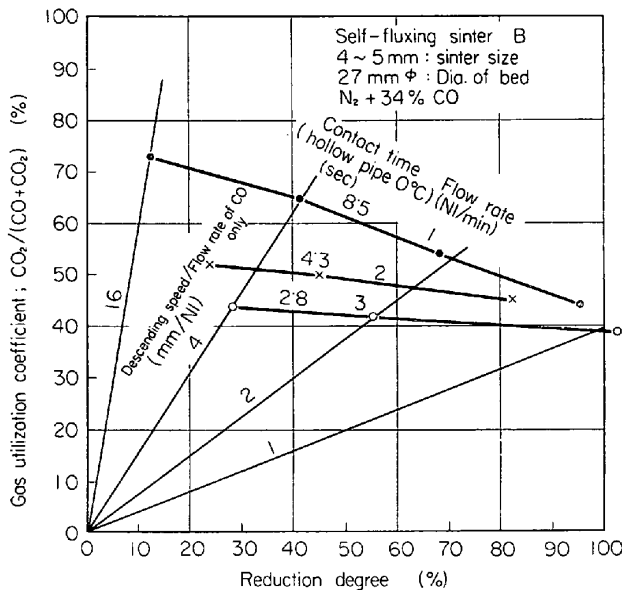


Fig. 5. Reduction degree v.s. utilization coefficient diagram of countercurrent reduction by  $N_2+34\% CO$ .

### 3.3 $N_2+34\% CO$ 混合ガスによる向流還元

純  $CO$  では羽口が使えず完全な向流還元の実験ができなかつたので、圧縮空気と木炭を反応させ、 $N_2+34\% CO$  混合ガス ( $CO_2$  1%以下) を発生させ、羽口より導入して向流還元を行なわせた。羽口に入る前にステンレス内外管の間に多少の炭素析出を起したが (1回の実験で 20mg 程度)、羽口をつまらせるまでには至らず実験を行なうことができた。

その結果を Fig. 5 に示す。 $H_2$  還元と同様に曲線群は放射線状となり、接触時間 8.5sec では曲線は  $H_2$  のときとほぼ同じ利用率を示すが、それより接触時間が短くなるとほぼ直線となり、 $H_2$  のときより利用率がかなり低下するとともに、接触時間一定 (したがってガス流量一定) の場合、鉍石降下速度を変化させてもガス利用率にあまり差のないことを示している。Fig. 5 において (鉍石降下速度/ガス流量) の比は酸素バランスを示すので、ガス流量の計算には  $CO$  のみの流量を使用した

が、接触時間 (空塔,  $0^\circ C$  基準) の計算には流量として混合ガス流量を使用した。

現在大型高炉における接触時間は空塔  $0^\circ C$  基準で 10 sec 内外であり、間接還元率を 60% とみればガス利用率は 4~5 mm 焼結鉍では約 60% となり、現在の高炉での 45% に比べればまだ改善の余地はあるといえる。

$N_2+34\% CO$  1Nl/min のときの実験後の鉍石試料の  $H_2$  還元による還元分析値を採取位置に対しプロットすると、 $300\sim 900^\circ C$  向流還元においては  $600\sim 900^\circ C$  帯においてほとんど全還元量の 90% が行なわれており  $600\sim 300^\circ C$  帯は還元速度に対し重要な意味を持っていない。

また炭素分析の結果は流量、降下速度を種々変化して行なつたいずれの場合も  $C$  0.1% 以下であり、 $CO$  還元のとくに比較してはるかに少ない。したがって、高炉内の条件においても炭素析出は極端なガス流の停滞のいかりりほとんどないといえる。

## 4. 結 言

(1)  $300\sim 900^\circ C$  の直線的温度勾配を持つ向流還元装置を作り、自溶性焼結鉍の  $H_2$  および  $N_2+34\% CO$  による向流還元のデータを得た。

(2) 向流還元でのガス利用率は (鉍石降下速度/還元ガス流量) の比とガスの接触時間により決定される。

(3)  $CO$  還元における炭素析出速度は (鉍石降下速度/還元ガス流量) が少ないほど、接触時間が長いほど大である。 $N_2+34\% CO$  還元ではほとんど炭素析出を起さなかつた。

(4)  $N_2+34\% CO$  による還元速度はほとんど  $600\sim 900^\circ C$  帯で決定される。

## 文 献

- 1) 相馬: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 1372
- 2) 相馬: 茨城大学工学部紀要, 6 (1966), p. 1
- 3) 相馬: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1753
- 4) 児玉, 他: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 10