

論 文

UDC 622.341.1 : 669.094.1/.3 : 669.12

高温加圧流動還元における鉄鉱石の流動化*

櫻谷 和之**・北原 宣泰**・森中 功**

神谷 昂司**・尾澤正也**・田中 稔***

Fluidization of Iron Ore Particles at High Temperature and Pressure

Kazuyuki SAKURAYA, Nobuyasu KITAHARA, Isao MORINAKA,
Kōji KAMIYA, Masaya OZAWA, and Minoru TANAKA

Synopsis:

For stable operation of continuous fluidized bed reduction of iron ore at high temperature and pressure, fluidizing conditions of iron ore particles of a wide size distribution were investigated using a fluidized bed model at room temperature.

At a certain fluidizing velocity it was possible to maintain these iron ore particles of the wide size range at good fluidization, in which the particle size distribution in bed was almost uniform during the continuous operation and the dust from the bed was a little in the amount. On the basis of this suitable fluidizing velocity obtained from the experiment of a cold model, fluidizing velocities corresponding to the change of factors such as temperature, gas composition, and reduction degree of iron ore were calculated.

The controlling method of the flow rate of reducing gas and gas pressure in the reactor in a continuous operation from the start up at room temperature to the steady state at high temperature was devised.

According to this controlling method, the continuous operation of a pilot plant using nitrogen and hydrogen as fluidizing gas was performed at high temperature and pressure.

1. 緒 言

金属材料技術研究所では内径 25cm のパイロットプラント規模の流動還元を行ってきたが、その特徴は

- 1) 高温加圧による還元速度及びガス利用率の向上
- 2) 鉱石粒子相互の焼結防止のための粗粒鉱使用
- 3) 多段多室化による成品還元率の向上

である。1)と3)はプロセスの生産性の向上に結びつき、2)は微粉鉱のみを使用する場合よりも多量の還元ガスが流せるためやはり生産性の向上に結びつくが、粗粒鉱を含んだ広い粒度分布をもつものについては、適正な流速をとらないと粗粒の堆積や微粉の飛び出しが生じ、良好な流動化状態が得られないおそれがある。

すなわち、鉄鉱石の流動還元において、安定な操業を行うには、鉱石粒子をその条件下において常に良好な流

動化状態に保持する必要がある。定常状態においては、炉内の温度、圧力、ガス組成、還元率は一定であるので良好な流動化状態を保つことは比較的容易であるが、実際の操業においては、常温から昇温過程の非定常状態を経て高温の定常状態に移行するので、流動炉の各段において、温度、圧力、ガス組成、還元率が時間とともに変化し、これらの値の変化に対応した制御を行う必要がある。

そこで著者らは常温においてガラス円筒製の 2 段からなる流動層モデルを用いて実験を行い、かなり広い粒度分布をもつ鉱石粒子の流動化流速について検討を行った。

この結果をもとにして、高温加圧下におけるパイロットプラントの操業方法を検討し、この計画に基づいてパイロットプラントの操業を行ったので報告する。

* 昭和 51 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 53 年 3 月 17 日受付 (Received Mar. 17, 1978)

** 金属材料技術研究所 (National Research Institute for Metals, 2-3-12 Nakameguro Meguro-ku Tokyo 153)

*** 金属材料技術研究所 工博 (National Research Institute for Metals)

2. 常温常圧における鉱石粒子の流動化

2.1 試料及び装置

モデル流動層の実験では、Hamersley 産の赤鉄鉱石の焼結鉱用原料をローラーミルで粉碎整粒したものを使用した。その粒度分布を Table 1 に示す。

装置は前報¹⁾に示されるような、直径 20 cm、高さ 80 cm のガラス円筒を用いた。流動層の高さ方向の粒度分布を測定する場合は単段で、また、一定量の給排鉱による流動層内及び排出鉱石の粒度分布変化を測定する場合は 2 段にして使用した。

2.2 流動層の高さ方向の粒度分布

流動層中の各高さレベルにおける粒度分布を調べるために、Fig. 1 に示すような同時に各レベルでサンプリングできる装置を用いた。これは外径 3.4 cm の透明塩化ビニール管に 6 cm ごとに仕切板を入れ、12 個の室を作

Table 1. Particle size distribution and mean diameter (\bar{d}_p) of Hamersley iron ore used for cold model and pilot plant.

mesh	Cold model (wt%)	Pilot plant (wt%)
16~24	20.4	35.9
24~32	17.3	17.2
32~60	37.4	25.7
60~80	11.6	9.3
80~100	6.8	5.4
100~115	3.1	3.4
-115	3.4	3.1
\bar{d}_p (cm)	0.0265	0.0387

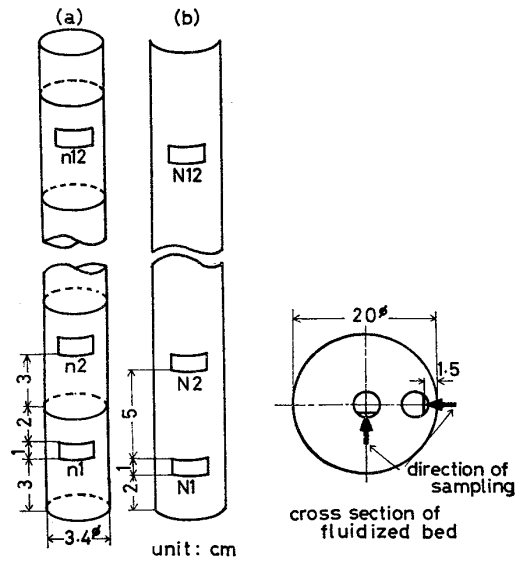


Fig. 1. Sampling apparatus of fluidizing particles and position of sampling.

り、その各に高さ 1 cm、幅 2 cm の開孔部のあるもの (a) とこの管の曲率と同じ曲面を持つ透明塩化ビニール板に管と同じ形状の開孔をもつもの (b) からなる。サンプリングは (a) と (b) を重ね合わせて流動層内に固定し、20 kg の鉱石をモデル流動層内に装入し、一定の流速で流動化させ、5 min 経過後 (b) を 1 cm 引き上げ (a) と (b) の開孔部を合わせて 1 min 保持後、さらに (b) を 1 cm 引き上げて採取を完了した。層内のサンプリングは中心部及び外壁から 1.5 cm の周辺部とで行った。その位置と方向を Fig. 1 に示す。

Fig. 2, Fig. 3 にそれぞれ中心部、周辺部における粒度分布を空塔速度 $u_0 = 42.4, 53.1, 63.7$ cm/sec の場合

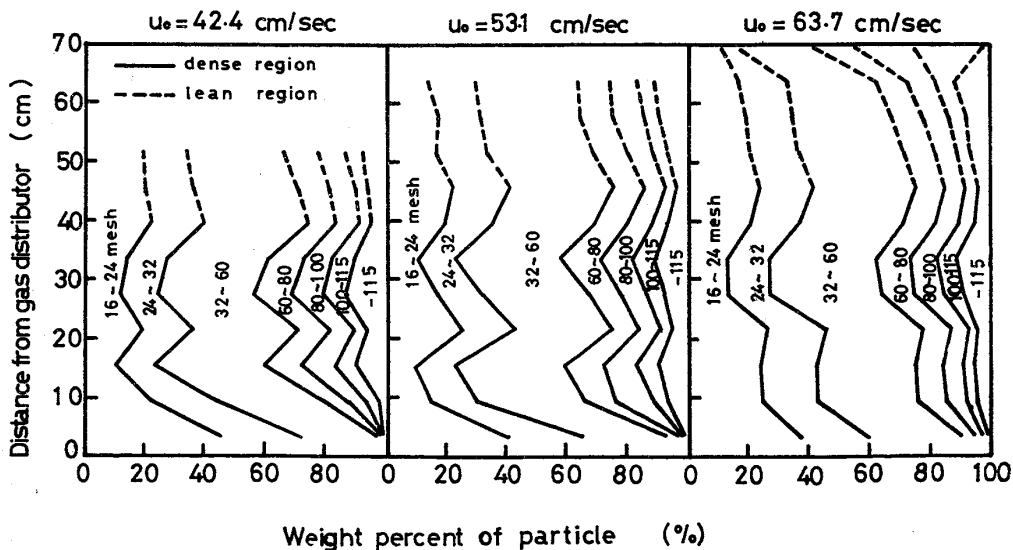


Fig. 2. Size distribution of iron ore particles at different levels in center of fluidized bed in case of different superficial velocity u_0 .

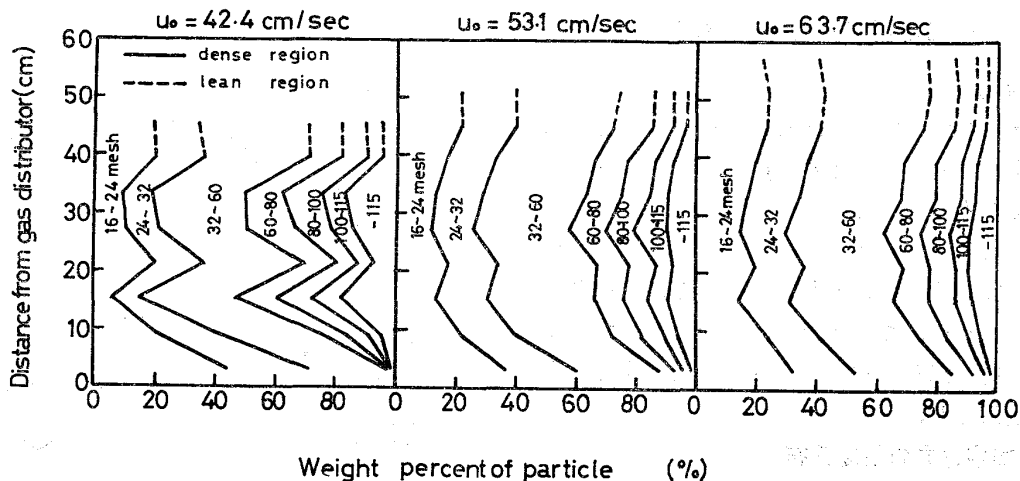


Fig. 3. Size distribution of iron ore particles at different levels in circumference of fluidized bed in case of different superficial velocity u_0 .

について示した。流動層高さより下部のサンプル量はほぼ 25 g であつたが、これより上の部分では微粉の飛び出しや気泡の破裂によつてのみ開孔部に入るため、流動層内のサンプル量よりかなり少なかつたので、この部分については破線で示した。

ガス分散板から 10 cm 以下の範囲では、層全体の平均的な粒度分布よりもかなり粗粒が多くなつている。その反面、ガス分散板から 10 cm 以上の範囲では、粗粒の割合が少なくなつている。また、 u_0 が大になるのに従つて、中心部、周辺部とも層内の各レベルにおける粒度分布に差がなくなる傾向がある。したがつて、このような広い粒度分布をもつ場合でも、浦部ら²⁾の微粉におけるのと同様に、十分な流動化流速をとれば粗粒でも層内に一様に分布することがわかつた。

2.3 連続実験における粒度分布変化

流動層の高さ方向の粒度分布の実験で、外観上は良好な流動化状態を呈しても、流速が小になると流動層の下部で粗粒が多くなる傾向がみられた。そこで、連続的に給排鉱したときに、この傾向が進行するかどうかをみるために、流動層下部において粒度分布が比較的粗粒側に偏つた空塔速度 $u_0 = 42.4$ cm/sec を選び、一定量の給排速度 F [kg/min] のもとで連続運転を行い、排出鉱石及び流動層内の粒度分布変化について調べた。

実験は $F = 2$ kg/min で 30 min 行い、そこで停止し上下 2 段の各についての平均のサンプルを採取した後、 $F = 1$ kg/min に減じ 30 min 運転し、そこで停止した上下 2 段の各についての平均のサンプルを採取し、さらに 80 min、 $F = 1$ kg/min で運転を行つた。上段、下段の流動層高はそれぞれ 20 cm、25 cm で行つた。鉱石排出速度は 5 min ごとに、上下各段についている外装サイ

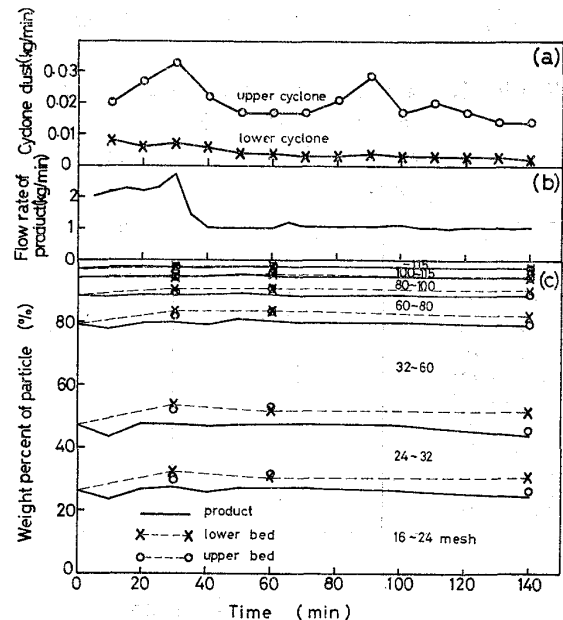


Fig. 4. Size distribution change of iron ore particles in fluidized bed and elutriation of fine particles at continuous feeding.

クロンのダスト量は 10 min ごとに計量した。

これらの結果を Fig. 4 に示す。排出鉱石の粒度分布は、時間 0 に示される供給鉱石の粒度分布に対し、 $F = 2$ kg/min の場合も $F = 1$ kg/min の場合にも変化はほとんどみられなかつた。30, 60, 140 min における上下各段の平均の粒度分布が Fig. 4(c) に示されているが、上下段ともに粗粒の割合が供給鉱石に比較して若干高めになつている。しかし、排出鉱石の粒度分布が供給鉱石とほとんど変つていないことから、流動層中の粗粒の割合は供給鉱石中の粗粒の割合よりも若干高めの値で動的に平衡し、流動層中での粗粒の割合はそれ以上に増

Table 2. Minimum fluidizing velocity (u_{mf}) and terminal velocity (u_t) of iron ore particle (air, room temperature).

d_p (cm)	u_{mf} (cm/sec)	u_t (cm/sec)
0.1 (16mesh)	87.2	427.7
0.05 (32mesh)	34.6	239.4
0.0265 (115mesh)	11.1	156.3
0.0125 (115mesh)	2.5	57.8
0.01	1.6	42.6

加しないものと思われる。

Fig. 4(a)に示されるように、外装サイクロンで回収される微粉の量は、上段サイクロンの方が下段のそれに比べて数倍多いが、これは上段では給鉱が流動層の上から行われるのに対して、下段では溢流管を通して流動層内部に給鉱されるので微粉が飛び出しにくいからである。また、上段で微粉がわずかではあるが回収されているので、その分だけ溢流管を通して下段へ流下する鉱石中の微粉割合が減少しているため、下段での外装サイクロンの回収量が減少したものと考えられる。いずれにしても外装サイクロンの回収量は、 $u_0=42.4$ cm/sec では給鉱量の 1% 以下であり、この程度の飛び出し量では操業に問題はないと考えられる。

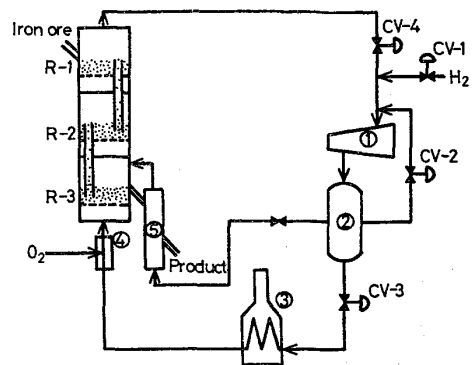
2.4 粒度分布をもつ鉄鉱石粒子の流動化流速

著者らの使用したような粗粒が多く含まれている広い粒度分布をもつ鉄鉱石粒子については、最大径の粒子に対する最小流動化流速 (u_{mf}) よりも大きく、最小径の粒子に対する終端速度 (u_t) よりも小さい範囲内に空塔速度をとることができれば、良好な流動化状態が得られる。

Table 2 に常温の空気による実験に使用した鉄鉱石粒子の各粒径に対する計算上³⁾の u_{mf} と u_t を示した。実験に使用した鉄鉱石粒子の最大径は 0.1 cm で、この粒径に対しては、87.2 cm/sec (u_{mf}) から 427.4 cm/sec (u_t) の範囲で流動化できるが、一方最小径については 2~50 cm/sec の範囲しか流動化できないことになる。したがって、計算上では最大径と最小径の粒子を同時に流動化することは不可能となるが、実際には、実験に使用したような粒度分布をもつ鉄鉱石粒子では、 $u_0=42.4$ cm/sec にしても前述したように連続操業のできる良好な流動化状態を保持することができた。実験に使用した鉄鉱石粒子の調平均径は 0.0265 cm で、この平均径に対する u_{mf} は 11.1 cm/sec, u_t は 156.3 cm/sec となり、 $u_0=42.4$ cm/sec との比をとれば、

$$u_0/u_{mf}=3.8, u_0/u_t=0.27 \dots\dots\dots(1)$$

となる。



① Compressor ② Surge tank ③ Heater ④ Partial combustion furnace ⑤ Cooler R; Reactor CV; Control valve

Fig. 5. Ore flow and process gas recycle system of pilot plant.

3. 高温加圧下における鉄鉱石粒子の流動化

3.1 流動還元パイロットプラント

流動還元パイロットプラントの鉄鉱石の流れと水素の循環の概略を Fig. 5 に示す。流動炉は内径 25 cm の 3 段 (R-1, R-2, R-3) よりなり、加熱方法は水素予熱による内熱式である。鉄鉱石粒子は R-1 に連続的に給鉱され、ある時間滞留して溢流管を経て R-2, R-3 へと加熱、還元されながら流下し、還元鉄は内径 10cm の流動層冷却器で 150°C 以下に冷却され系外に排出される。還元用水素はコンプレッサーで昇圧され、サージタンクに入り CV-2 により一定圧力に保持される。この加圧水素は CV-3 により所定流量に調節され、加熱炉および酸素吹込みによる部分燃焼炉で加熱され、流動還元炉に導入される。高温加圧水素は炉内の鉄鉱石を加熱、還元しながら上昇して R-1 より排出される。排ガスは冷却、洗滌されコンプレッサーにより循環される。炉内圧力の調節は CV-4 で行われる。還元によつて消費された水素は CV-1 で補給される。流動層冷却器に導入される水素はサージタンクより一部分岐して供給され、この排ガスは R-3 の流動層上部に入る。

3.2 適正流量の条件

パイロットプラントに使用した鉄鉱石は、モデル流動層実験と同じ Hamersley 赤鉄鉱石を 16mesh 以下に粉碎したもので、その粒度分布を Table 1 に示す。この鉄鉱石粒子の平均径 \bar{d}_p は 0.0387 cm であつた。この鉄鉱石粒子の密度 ρ_s [g/cm³] は、緻密な塊鉄鉱石を使用して測定したところ 4.95 であつた。また、空気透過法による比表面積より算出された粒子形状係数 ϕ_s [-] は 0.7 であつた。

u_t に対する粒子レイノルズ数 Re_p [-] は (2) 式で示される。

$$Re_p = \bar{d}_p \rho_g u_t / \mu \dots\dots\dots (2)$$

\bar{d}_p : 粒子径 [cm]

ρ_g : ガスの密度 [g/cm³]

μ : ガス粘度 [g/cm·sec]

また, ガス及び粒子の物性値と Re_p との間には (3) 式の関係³⁾がある.

$$C_d Re_p^2 = \frac{4g\bar{d}_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g)}{3\mu} \dots\dots\dots (2)$$

C_d : 抵抗係数 [-]

g : 重力加速度 [g/cm·sec²]

ρ_s : 粒子の密度 [g/cm³]

$C_d Re_p^2$ と Re_p との関係は ϕ_s をパラメーターとして知られている³⁾ので, ガス及び粒子の物性値よりある条件における粒子の u_t が求められる.

ところで鉄鉱石の還元を行うには, 鉱石と還元ガスの比はなるべく大きくとることがガス利用率にとって有利になるため, u_0 は小さいほうが好ましい. また, 安定した流動化の条件として, 層内粒子を完全に混合するには, u_0 はある値よりも大にする必要があるが, 飛び出しを少なくするには, u_0 はなるべく小さくすることが望ましい. このような条件は, 連続的に給排鉱しても, 供給鉱石と排出鉱石との粒度分布に変化がみられず, 流動層内の粒度分布も供給鉱石より粗粒の割合が若干高めで平衡し, 粗粒の割合がそれ以上増加しない u_0 をとることによつても満足できると考えられる. 常温常圧の連続実験において, $\bar{d}_p = 0.0265$ cm に対する u_t とそのときの u_0 との関係が, $u_0/u_t = 0.27$ となつたので, 計算の基準としてこの値を採用し, 加圧及び昇圧時におけるガス及び粒子の物性値の変化より, u_0 を算出した.

加圧下の操業では, 炉内を所定圧力にした後, 常温で鉱石粒子を流動化させながら昇温する方法が考えられるが, この方法では常温時においては, ガス流量を高温時の約4倍に増加させなければならず, 常温時において大量のガスを循環する必要があり, 動力及び設備の点で不経済になる. そこで, 常温時でのガス流量を少なくするために, 高温時の炉内圧力よりも低い圧力で操業を開始する方式を採用した.

この方法で操業するために, ガスに関しては還元反応と酸素吹込みによる水蒸気濃度の増加及び昇温による ρ_g と μ の変化, 鉱石粒子に関しては還元率の上昇による ρ_s の変化を考慮して, 各段の流動化を適正に保ち得るような炉内圧力, ガス流量についての計算を行い, 以下にその検討及び操業結果について述べる.

3.3 窒素による運転条件

水素による還元を行えば, 反応による水蒸気発生のため

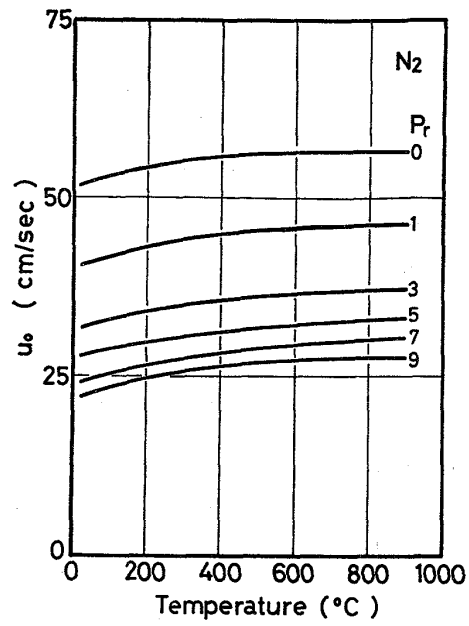


Fig. 6. Superficial velocity u_0 of iron ore particles ($\bar{d}_p = 0.0387$ cm) by pressurized nitrogen.

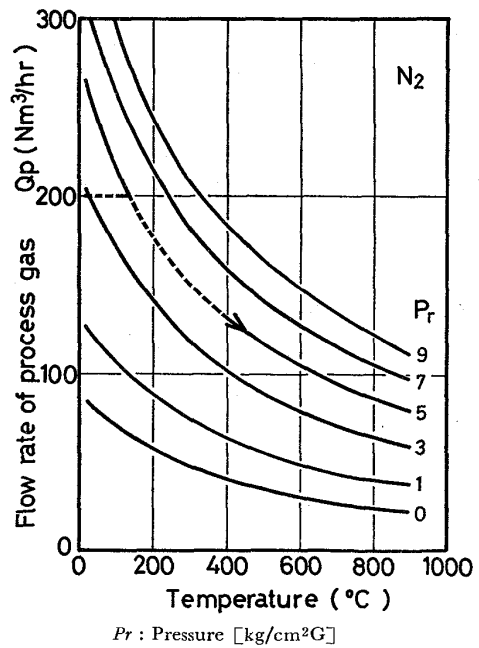


Fig. 7. Operation chart of pilot plant using nitrogen as process gas.

め、ガス物性値の変化, 鉱石の密度変化, 吸熱反応による温度変化がおき, これらの因子がたがいに作用しあい, 制御が複雑となる. このため, 始めに反応を伴わない窒素を用い, 温度と圧力のみが変化する場合の操業条件について検討を行った.

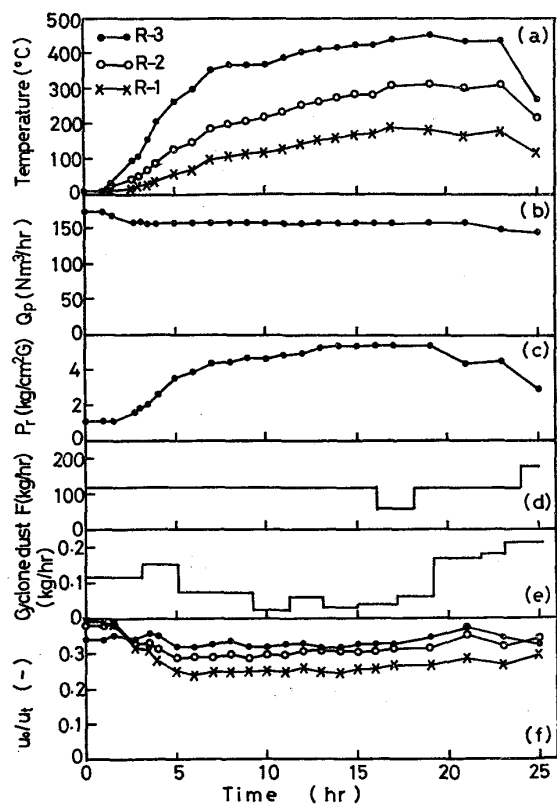
炉内圧力 Pr [kg/cm²G] をパラメーターにとつた窒素の u_0 を Fig. 6 に示す. この図から u_0 に及ぼす温度の影響は小さいが, 圧力の影響は大きいことがわかる. これは圧力一定の場合, 温度とともに μ は大となり ρ_g

は小となるのに対して、温度一定の場合、圧力とともに ρ_g は大となるが、 μ はこの程度の圧力ではほとんど変化しないからである。

Fig. 7 は Fig. 6 の u_0 を反応炉の径、圧力、温度を考慮して、循環量 Q_P [Nm³/h] に換算したものである。

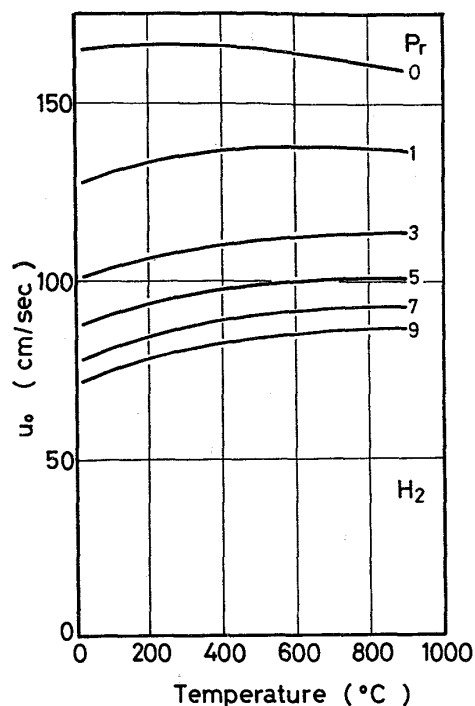
図の破線で示す操作ラインで昇温、昇圧、循環量を制御すれば、鉄石粒子は良好な流動化状態を保つことができると考えられる。常温で $P_r = 3$ で操作を開始すれば、 $Q_P = 200$ でよく、昇温するに従って、 Q_P 一定のもとで P_r を増加し、 $P_r = 5$ になった時点で P_r 一定のもとで Q_P を減小する操作を考えた。R-1, R-2 の温度は R-3 より低いが、流動層冷却器排ガス Q_c [Nm³/h] が加わるため、ほぼ適正な流動化状態を保つことができると考えられる。

以上の点を考慮して窒素によるパイロットプラントの操作を R-3 の P_r, Q_P を基準として行つたが、その操作条件と結果を Fig. 8 に示す。この操作では、循環ガスの圧力バランスの関係上、当初の計画より低い $P_r = 1.1$ で操作を開始したので、 Q_P は約 175 一定とし、昇温とともに昇圧を行つた。 u_0/u_i の値は、R-1, R-2 でもほぼ 0.3 前後の値を示し、外装サイクロン回収量も給鉄



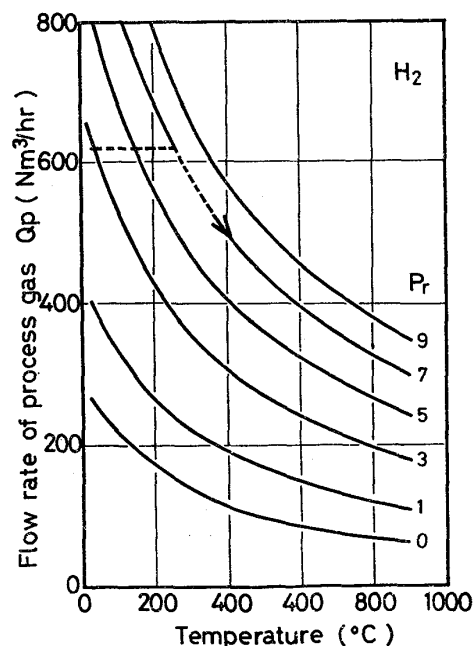
Q_P : Flow rate of process gas
 P_r : Pressure
 F : Feed rate

Fig. 8. Operating conditions and results of pilot plant using nitrogen.



P_r : Pressure [kg/cm²G]

Fig. 9. Superficial velocity u_0 of iron ore particles ($\bar{d}_p = 0.0387$ cm) by pressurized hydrogen.



P_r : Pressure [kg/cm²G]

Fig. 10. Operation chart of pilot plant using hydrogen as process gas below 400°C.

速度 F [kg/h] の 1% 以下で、25h にわたる順調な操作を行うことができた。

3.4 水素による連続操作

(1) 反応を伴わない温度域での操作条件

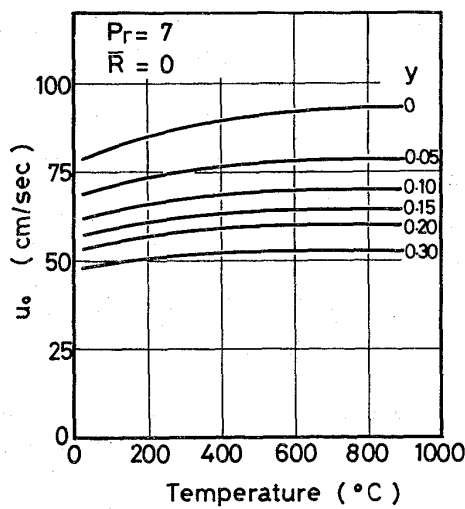
Fig. 9 に水素の場合の u_0 を P_r をパラメーターにと

つて示した. Fig. 6 の窒素の場合に比べて約 3 倍程度の u_0 が必要となるが, これは窒素の密度及び粘度が粘度が水素のそれぞれの 14 倍, 約 2 倍であることに起因している. しかし, 窒素と同様に u_0 は温度によつてそれほど変化しないが, 圧力によつて大きく変化する. 次に, 窒素の場合と同様に u_0 を Q_P に換算したのが, Fig. 10 である. 窒素と同じように温度を一定とすれば, P_r が高いほど Q_P が大きくとれる. 高温水素流動還元の場合において, 高還元率のときを除けば, 還元反応がガス供給律速に近づく⁴⁾ ため, 水素の循環量を多くすることは, 生産性の向上の面で有利となる. したがつて, 加圧することにより水素の循環量を増加できるので, 加圧操業は生産性の向上をもたらす.

パイロットプラントでは, 水素の場合 Fig. 10 の破線で示されるように, 常温からの操業方法は $P_r=3, Q_P=625$ より開始し, 昇温に従つて P_r を増加し, $P_r=7$ になつた時点で, P_r 一定のもとに Q_P を減少する操業方法を採用した.

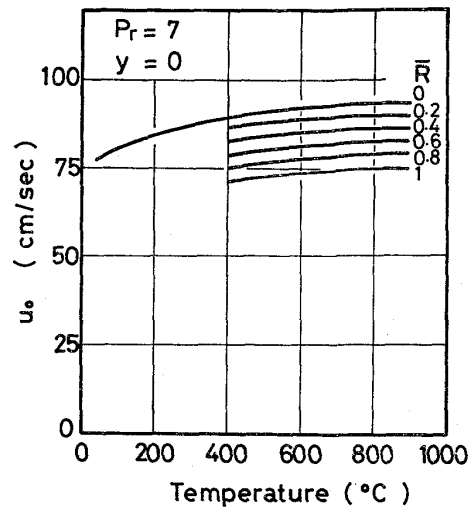
(2) 水蒸気及び還元率を考慮した操業条件

還元炉内が 400°C 以上になると, 鉄鉱石の還元が始まり, その結果炉内には水蒸気が発生する. また, パイロットプラントのように高温の還元ガスを得るため, 酸素による水素の部分燃焼を行えば, これによつても水蒸気が発生する. この水蒸気濃度 $y[-]$ の u_0 に及ぼす影響を示したのが, Fig. 11 である. ここで $P_r=7$ とし, 鉱石粒子は未還元粒子 ($\bar{R}=0$) として取り扱つた. u_0 は $y=0.3$ になると, $y=0$ の場合の 60% 程度となる.



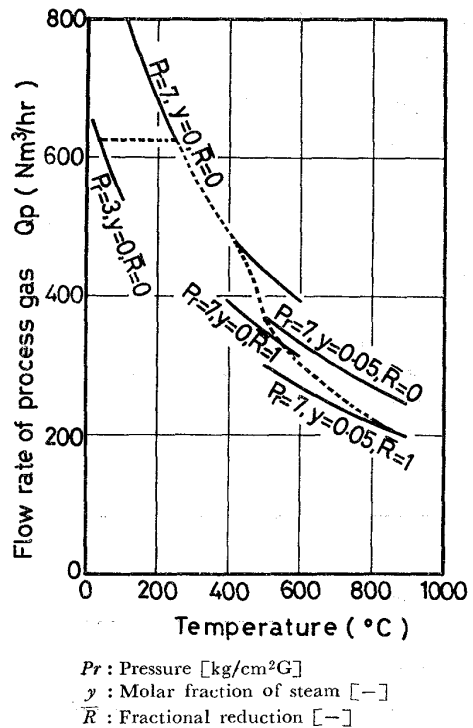
P_r : Pressure [kg/cm²G]
 \bar{R} : Fractional reduction [-]
 y : Molar fraction of steam [-]

Fig. 11. Superficial velocity u_0 of iron ore particles ($\bar{d}_p=0.0387$ cm) in gas mixture of hydrogen and steam.



P_r : Pressure [kg/cm²G]
 y : Molar fraction of steam [-]
 \bar{R} : Fractional reduction [-]

Fig. 12. Superficial velocity u_0 of reduced iron ore particles ($\bar{d}_p=0.0387$ cm).

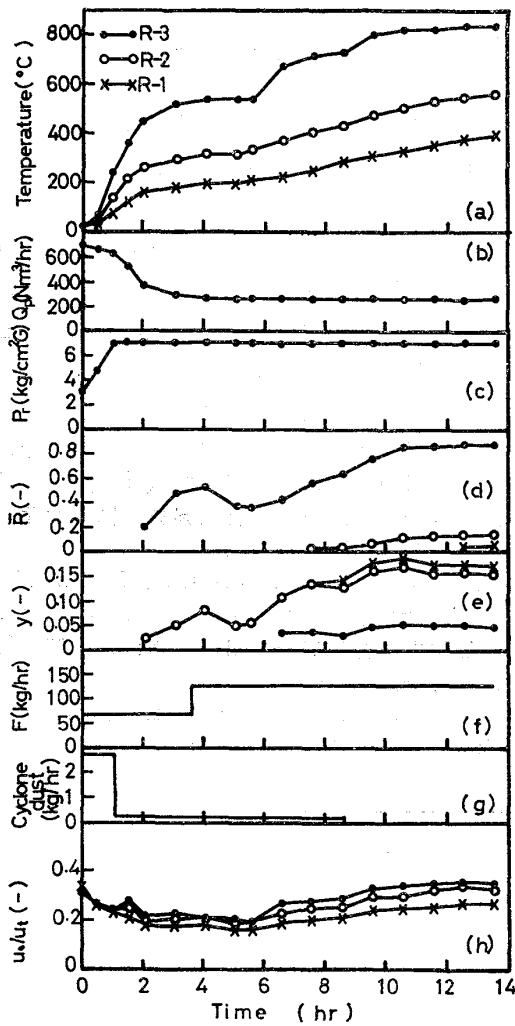


P_r : Pressure [kg/cm²G]
 y : Molar fraction of steam [-]
 \bar{R} : Fractional reduction [-]

Fig. 13. Operation chart of pilot plant during increasing temperature.

なお, (1), (2)式で u_t を計算する際, $\text{H}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系の混合ガスの μ の値は実測値がないため, WILKE⁵⁾ の式に従つて算出した.

ところで, 流動還元中に鉱石粒子の形状, 大きさに変化がなければ, 鉱石粒子は還元によつて酸素が除去されるので ρ_s は減少する. たとえば, 実験に使用した鉱石については, $\bar{R}=0$ の場合には $\rho_s=4.95$ に対して, $\bar{R}=1$ の場合には $\rho_s=3.54$ となる. $P_r=7, y=0$ の場合の

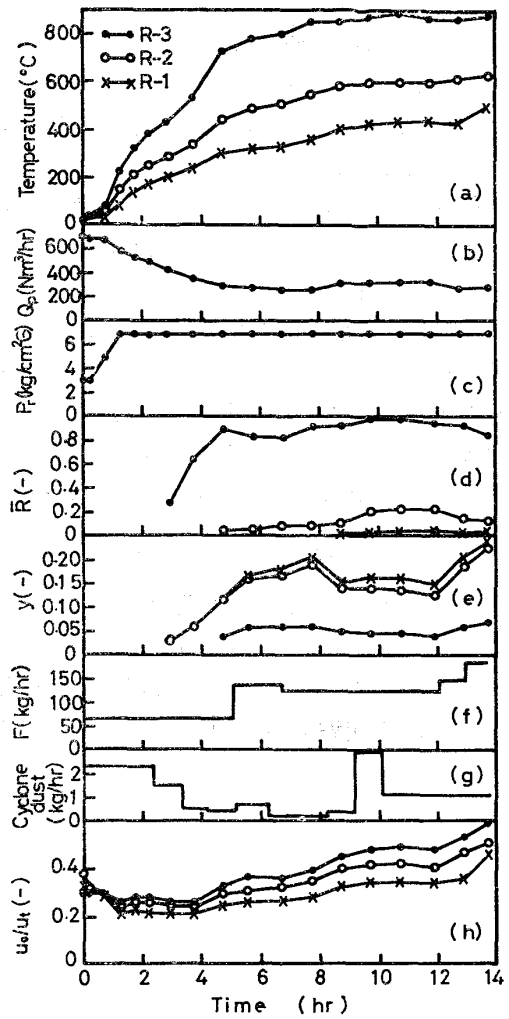


Q_P : Flow rate of process gas
 P_r : Pressure
 \bar{R} : Fractional reduction
 y : Molar fraction of steam

Fig. 14. Operating conditions and results of pilot plant. (example 1)

還元率の変化をパラメーターにとつた u_0 の値を、水素による還元が進行する 400°C 以上について示したのが、Fig. 12 である。各温度とも \bar{R} が増加するのに従つて、 u_0 は減少し、 $\bar{R}=1$ の場合は $\bar{R}=0$ の場合の 70% 程度となる。

このように多段連続流動還元の操業においては、各段の温度、圧力、ガス組成、鉄鉱石の還元率を考慮してガス流量の制御を行わねばならない。パイロットプラントの高温における制御の例を Fig. 13 の破線で示す。 400°C までは Fig. 10 に示されているのと同様であるが、 400°C 付近から還元が進行するため、 $P_r=7$ 、 $y=0$ 、 $\bar{R}=0$ のラインより Q_P を小にとる。 500°C 付近から水素流量の 2.5% の酸素を部分燃焼に使用するため、 Q_P を $P_r=7$ 、 $y=0.05$ 、 $\bar{R}=0$ のラインより小にとり、炉内が



Q_P : Flow rate of process gas
 P_r : Pressure
 \bar{R} : Fractional reduction
 y : Molar fraction of steam

Fig. 15. Operating conditions and results of pilot plant. (example 2)

高温になり還元率の上昇とともに、 Q_P を $P_r=7$ 、 $y=0.05$ 、 $\bar{R}=1$ のラインに漸近させる操業方法をとつた。

3.5 パイロットプラントの操業結果

Fig. 14 はパイロットプラントの連続操業における、操業開始から定常状態に至る経過を示した例である。また、 Fig. 15 には、生産量増大のために給鉄速度及び Q_P を増加した操業例を示した。(a) は各段の温度、(b)、(c) はガス流量と炉内圧の制御経過であり、(d) は各段の還元率、(e) は各段に導入されるガス中の水蒸気濃度、(f) は給鉄速度、(g) は外装サイクロンで回収された微粉ダスト量の時間変化を示したもので、(h) はこれらの値から計算で求められた u_0/u_t の各段における経過を示している。

Fig. 14(h) の前半において、R-3 の u_0/u_t の値が計算の基準となつた値よりも小さくなつてゐるのは、操業

開始からの非定常時には、初期の還元の予測のもとに制御を行つたが、実際の還元の進行がこの予測よりも遅れたことに起因している。しかし、非定常状態においてこの程度の u_0/u_t の値の低下がみられても、安定な操業を続けることが可能であつた。

Fig. 15 (h) の後半において、 u_0/u_t の値が非常に大きくなつたのは、給鉄速度を増加したため反応して生成した水蒸気濃度が高くなつたことに起因している。計算の基準となつた $u_0/u_t=0.27$ の値より大きな値をとつても、安定な操業を続けることができ、外装サイクロンに回収される飛び出し量も給鉄量の 1% 以内であつた。

このように、高温加圧流動層でも u_0/u_t をかなり広い幅(0.2~0.6 程度)に変化させてもよいことがわかつた。

4. 結 言

流動還元パイロットプラントを高温加圧下のもとで連続操業を行うため、常温においてガラス製モデル流動層を使用して、広い粒度分布をもつ鉄鉱石粒子の適正な流動化条件についての実験を行つたところ、適正な流動化

流速をとることにより、粗粒の堆積や微粉の飛び出しの少ない安定した操業が可能であることがわかつた。

次に、この結果を基準として、温度、圧力、ガス組成、還元率を考慮して、高温加圧下での操業条件の検討を行い、常温での操業開始から、高温の定常状態に至るまでの操業方法を考案した。

この操業方法のもとで、窒素及び水素による実験を行つたところ、安定した連続操業を行うことができ、常温モデルで設定した流動化流速の基準値に対し、高温加圧下ではある程度の幅をとることが可能であつた。

文 献

- 1) 神谷昂司, 櫻谷和之, 森中 功, 北原宣泰, 尾澤正也, 田中 稔: 鉄と鋼, 65 (1979), p. 169
- 2) 浦部真一, 平木一郎, 吉田邦夫, 国井大蔵: 化学工学, 29 (1965) 11, p. 863
- 3) D. KUNII and O. LEVENSPIEL: Fluidization Engineering (1968), p.76 [John Wiley & Sons]
- 4) 櫻谷和之, 神谷昂司, 田中 稔: 鉄と鋼, 63 (1977) 9, p. 1435
- 5) L.A. BROMLEY and C. R. WILKE: Indust. Eng. Chem., 43 (1951) 7, p. 1641