

論 文

鉄鉱石の酸化度、還元率及び被還元性に就て*

佐々木 茂、式**・安 達 春 雄**

ON OXIDATION DEGREE, REDUCTION DEGREE
AND REDUCIBILITY OF IRON ORE*Shigeichi Sasaki and Haruo Adachi*

Synopsis:

The correlation among several methods of indicating oxidation and reduction degree of iron ore and their difference were explained and the most reasonable method by which indication of net reduction degree was possible was established. Several tests were conducted on the size and porosity of ore, flow quantity of CO gas per unit time, rate of mixing coke, reduction temperature and reduction time which were regarded as the factors having an influence upon the reducibility of iron ore.

In reduction tests with CO gas and coke, better reducibility was obtained with finer ore. Within this test conditions, this trend was observed in the case of the ore especially under about 1.0 mm in diameter, while it was not so remarkable in the larger size ore. In the case of reduction with coke the highest reduction-degree was obtained with a mixing of 30% coke. Reducibility with CO gas showed a gradual increase with an increase of flow quantity of CO (cc/min.). As an influence of porosity on reducibility, increase of 10% in porosity brought about an increase of about 10~13% in the reduction-degree. As to hematite, based chiefly on the result of reduction test, the relative correlation among flow quantity of CO gas, ore diameter and reducibility CO gas was considered. And it was presumed that flow quantity of CO gas had more influence on reducibility with CO than the ore diameter in case of large size, and that the effect as the product of a mass of flow quantity of CO per unit time and reduction time was observed.

緒 言

鉄鉱石類の酸化度及び還元率の計算表示には従来より各種の方法が用いられており、殊に還元率の場合では還元実験方法の相異によるいろいろの求め方が採用されている。又、還元実験に際して被還元性或いは還元率に影響を及ぼす因子として試料鉄鉱石の粒度及び気孔率、還元用ガス流速或いは流量、固体炭素の混合割合、還元温度及び同時間等が挙げられる。これ等の中の粒度、流量及び固体炭素混合割合の影響に関する報告は割に少ない。本研究は、各種の計算法によつて求められる酸化度及び還元率の意味、相互間の相異点、並びに実験上の各因子の影響程度等に就いて2,3の検討を行つたものである。又、熔鉱炉々内還元反応或いは炉況を左右する因子と

して鉄石サイジング、装入方法、送風量及び送風圧或いは炉内ガス流量等が重視されるが、COによる被還元性と鉄石粒度及び単位時間当りのCO流量との関係、並びに被還元性に及ぼすCO流量及び還元時間両者の相乗積の効果等を本還元実験結果に基いて求め、これ等からサイジング、流量が炉内還元反応に及ぼす影響に関して考察した。

I. 酸化度の計算表示法

酸化度の計算法には W. Feldmann の報文中¹⁾に記載されている式を初め、大石及び石部両氏²⁾その他の人々によつて採用されている式等がある。

Feldmann の計算法は、 Fe_2O_3 1モル中の O_2 量と Fe 量の比を 1 とおき、試料中の各酸化鉄のモル数に相当する O_2 量の和及び Fe 量の和の比を前者の比で除した百分率を以つて表示する。一方大石、石部氏等の計算法は試料中の Fe_2O_3 モルを Fe_2O_3 及び FeO 両モルの

* 昭和 27 年 11 月本会講演大会にて発表

** 日本鋼管技術研究所

Table 1. Weight decrement percentage of pure ferric oxide with reduction and relation between reduction and oxidation degrees.

	3Fe ₂ O ₃	→ 2Fe ₃ O ₄	→ 6FeO	→ 6Fe
Weight	479.04	463.04	431.04	335.04
Weight-decrement { ΔO_2	16.0	32.0	144.0	
Reduction-degree, %	0	3.34	10.02	30.06
Oxidation-degree, % { x_1, x_2, x_4	100	88.89	66.67	0
	x_3	51.00	0	

和で除した百分率を以つて表示するものである。前者の酸化度を x_1 (及び x_2)、後者の場合を x_3 とおき、 $a = \% Fe_2O_3$, $b = \% Fe_3O_4$, $c = \% FeO$ とおけば各計算式は (1), (2), (3) となる。一般に分析結果として得られるのは FeO 及び Fe₂O₃ であり、(1) 式で $b=0$, $c/a=p$ とおいて (2) 式となる。

(3) 式では FeO の酸化度を 0% と見做しているもので、酸化度の高い試料のみを対象とする際に酸化度の数値上の差異を大きな巾で表示できる便宜があるが

(1) 式に比べ稍々普遍性を欠く。

$$x_1 = \frac{\left[\frac{\text{試料の全 } O_2 \text{ 量}}{\text{試料の全 Fe 量}} \right] \cdot 100 = \frac{\left[\frac{Fe_2O_3 \text{ 1モルの } O_2 \text{ 量}}{Fe_2O_3 \text{ 1モルの Fe 量}} \right] \cdot 100 = \frac{\left[\frac{a \cdot 0.300 + b \cdot 0.276 + c \cdot 0.222}{a \cdot 0.700 + b \cdot 0.724 + c \cdot 0.778} \right] \cdot 100 \dots (1)}$$

$$x_2 = \frac{\left[\frac{0.300 + p \cdot 0.222}{0.700 + p \cdot 0.778} \right] \cdot 100 \dots (2)$$

$$x_3 = \frac{\left(\frac{\text{試料中 } Fe_2O_3 \%}{Fe_2O_3 \text{ の分子量}} \right) \cdot 100}{\left(\frac{\text{試料中 } Fe_2O_3 \%}{Fe_2O_3 \text{ の分子量}} \right) + \left(\frac{\text{試料中 } FeO \%}{FeO \text{ の分子量}} \right)} \cdot 100 = \frac{a \cdot 72}{a \cdot 72 + c \cdot 160} \cdot 100 \dots (3)$$

著者等は、Feldmann と同様な考え方、即ち試料の T.Fe ($d\%$ とおく) が Fe₂O₃ としてもつべき O₂ 量と試料中 Fe₂O₃ 及び FeO の両 O₂ 量の和の百分率で酸化度を表示する (4) 式をたてた。 $d = a \cdot 0.700 + c \cdot 0.778$, $0.300/0.700 = 0.428$ であるから (4) 式は (1) 及び (2) 式と同一式である。

$$x_4 = \frac{\left[\frac{(\text{試料中 } Fe_2O_3 \% \text{ の } O_2 \text{ 量}) + (\text{試料中 } FeO \% \text{ の } O_2 \text{ 量})}{\text{試料の T.Fe \% を } Fe_2O_3 \text{ と見做す時の } O_2 \text{ 量}} \right] \cdot 100 = \frac{\left[\frac{a \cdot 0.300 + c \cdot 0.222}{d \cdot 0.428} \right] \cdot 100 \dots (4)}$$

又、M.Fe を含む試料の場合の計算式を、純 Fe₂O₃ が還元されて減少する酸素重量の割合から定められる還元率 (Table. 1 参照) を基にして別に (5) 式の如くたてた。(5) 式で $e = M.Fe\%$ であり、

$$x_5 = \frac{[c \cdot 0.778 \cdot 0.666 + a \cdot 0.700] \cdot 100}{[e + c \cdot 0.778 + a \cdot 0.700]} = \frac{[c \cdot 0.518 + a \cdot 0.700] \cdot 100}{[e + c \cdot 0.778 + a \cdot 0.700]} \dots (5)$$

$e = 0\%$ とおけば (1) 及び (4) 両式と同一式となる。

II. 還元率の計算表示法

A) 還元実験前後の T.Fe, M.Fe, Fe'' 及び Fe''' の変化から求める場合

化学分析から知られる還元実験前後の試料中の T.Fe, M.Fe, FeO, Fe₃O₄ 及び FeO% を夫々 d と d' , e と e' , c と c' , b と b' , a と a' とおく。純 Fe₂O₃ の全部が FeO 及び M.Fe にまで還元される時の還元率は第 1 表の如く夫々 33.4% 及び 100% と見做すことができるから、この関係を用いて還元実験の還元反応のみによる真の還元率を T.Fe, M.Fe, Fe'', Fe''' の変化割合から求め、次ぎの (6) 式として表わすことが出来る。

$$R_1 = \frac{[e' + c' \cdot 0.259] \cdot 100}{[e' + c' \cdot 0.778 + a' \cdot 0.700]} - \frac{[e + c \cdot 0.259] \cdot 100}{[e + c \cdot 0.778 + a \cdot 0.700]} = \frac{[e' + c' \cdot 0.259] \cdot 100}{d'} - \frac{[e + c \cdot 0.259] \cdot 100}{d} \dots (6)$$

$$e' + c' \cdot 0.778 + a' \cdot 0.700 = d'$$

$$e + c \cdot 0.778 + a \cdot 0.700 = d$$

一般に、還元試験に供する試料には M.Fe が含まれていないのが普通であり、この場合には (6) 式で $e = 0$ とおけばよい。同式中の第 2 項は還元実験前の試料酸化鉄の状態を表わす。第 2 項を零とおけば、還元実験前の酸化鉄状態が算入される。すなわち見掛上の還元率 (R_{1A}) を表わす式となる。

$$R_{1A} = \frac{[e' + c' \cdot 0.259]}{d'} \cdot 100 \dots\dots\dots (7)$$

R₁ 及び R_{1A} の両計算式から酸化度 100 から 29.13 % 範囲に渉り算出した両還元率を酸化度及び酸化鉄状態変化との関係として Fig. 1 に示す。同図の如く、R_{1A} 見掛還元率は酸化度の如何にかかわらず酸化度 100 の場合の直線で表わされるのに対して R₁ の真還元率の方は試料の各酸化度に相当した夫々の直線で表わされる。R₁ は還元実験前の酸化鉄の酸素化合物状態如何によつて左右される値である。両還元率の値は酸化度 100 の試料の場合以外には同等とならない。

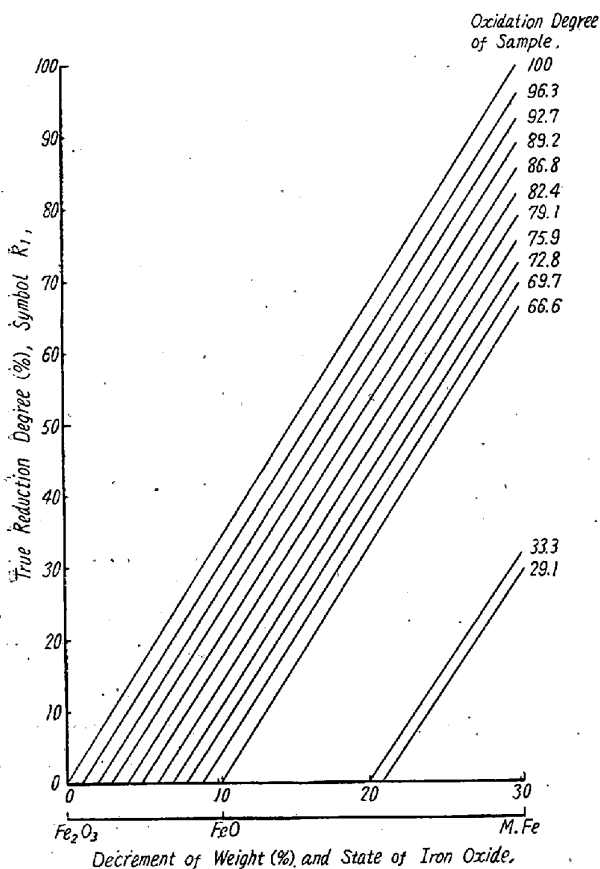


Fig. 1 Relation between oxidation degree, state of iron oxide and reduction degree which is expressed by symbol R₁.

B) 試料の酸素量変化から求める場合

試料の酸素量変化割合から還元率を求める方法は二つの場合に大別して考えることが出来る。即ち、還元実験前後の試料中 T.Fe, M.Fe, FeO, Fe₂O₃ 等の化学分析値、並びに還元排ガス中の CO₂ 或いは H₂O 量から還元進行に伴う酸素量変化割合を求めて還元率を算出する 2 つの場合である。試料の重量減少率から算出される還元率は直接に酸素量変化を重量で読みとり求めるので結局は上記の后者と同じ場合であると考えてよい。

(イ) 試料 T.Fe, M.Fe, FeO, Fe₂O₃ の化学分析値から求める場合、

一般的な計算式は下記の (8) 式であつて、還元のため失われる酸素量を分子、還元前の酸素量を分母とした百分率で還元率を表示する。

$$R_2 = \frac{\left[\frac{\text{還元前の O}_2 \text{ 量}}{\text{還元前の Fe 量}} \right] - \left[\frac{\text{還元後の O}_2 \text{ 量}}{\text{還元後の Fe 量}} \right]}{\left[\frac{\text{還元前の O}_2 \text{ 量}}{\text{還元前の Fe 量}} \right]} \cdot 100$$

$$= \left[1 - \frac{a' \cdot 0.300 + c' \cdot 0.222}{a \cdot 0.300 + c \cdot 0.222} \cdot \frac{d}{d'} \right] \cdot 100 \dots (8)$$

(8) 式による還元率 R₂ と酸化度及び還元進行に伴う Fe₂O₃-M.Fe 酸化鉄状態変化の関係は Fig. 2 の如くなる。同図の如く、(8) 式による還元率は酸化度の如何にかかわらず還元進行と共に 0% から 100% に集束する直線群で表わされる。前述の真及び見掛の両還元率 R₁, R_{1A} とも相違し、試料の初めの酸素量の大小に無関係に、完全還元時にはすべて 100% となる。従つて、酸化度を著しく異にする試料間の還元反応速度を比較し、或いは又還元性難易を知りたい場合に、この R₂ の

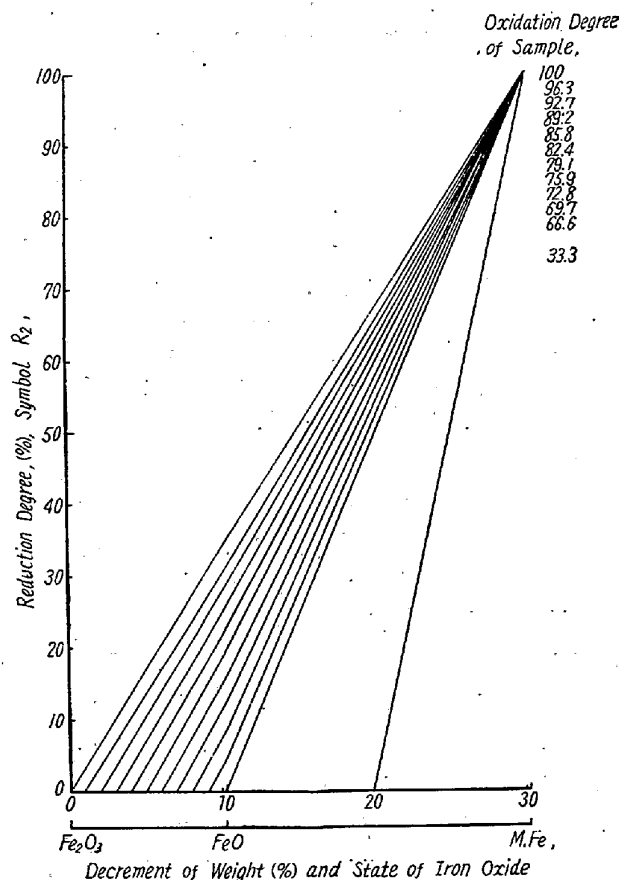


Fig. 2. Relation between oxidation degree, state of iron oxide and reduction degree which is expressed by symbol R₂.

数値のみでは厳密さを欠き充分でない場合も起ると考えられる。

(ロ) 還元排ガス中 CO₂, H₂O 量並びに重量減少率から求める場合

これ等の方法は要するに測定値を酸素減少量に換算し還元率を算出するのであつて、従つて計算式はすべて下記の(9)式になると考えてよい。

$$R_4 = \frac{[\text{還元による酸素減少量}]}{[\text{還元前の全酸素量}]} \cdot 100$$

$$= \frac{\Delta O_2}{\Sigma O_2} \cdot 100 \dots \dots \dots (9)$$

(9) 式から算出される還元率 R₄ と酸化度及び酸化鉄状態間の関係は、Fig. 2 R₂ の場合と同様であり試料の酸化度の大小如何にかかわらず完全還元でこの還元率はすべて 100% になる。

T.L. Joseph 及び F.W. Scott³⁾ によれば CO ガス還元の場合に 1652°F 以下の範囲では 2CO=C+CO₂ 反応のために真の還元率を求め難く、酸化鉄の化学分析結果に基く方が正確であることを指摘しており、CO₂ 量分析から求める還元率の場合には、この点をも念頭におく必要がある。

C) 実際の還元実験データに基く還元率 R₁, R_{1A} 及び R₂ の比較

上記の各式で表示される R₁, R_{1A} 及び R₂ の各還元率を実際の還元実験データに基いて算出し対照比較した。例えば Fig. 3 の如く、試料の酸化度が低い場合に3者間に可成りの差異が認められ、低いほどその差異が大きくなることを確認できた。

以上の諸点から、広範囲に酸化度を異にする試料間の被還元性の難易、殊に還元反応速度を厳密に判定するには R₂ 式よりも R₁ 式による還元率を用いる方が合理的である。

III. 被還元性と粒度、還元温度、還元時間、CO ガス流量及び固体炭素量との関係

A) 被還元性と粒度との関係

酸化度 99.94% の印度ゴア鉱及び 94.76% のラブロック鉱を供試料に選び、8~12mesh (平均径 1.70mm) 12~32mesh (同0.70mm), 32~48mesh (同0.40mm) 48mesh 以下 (同~0.29mm) の4種の粒度範囲に涉つて CO ガス流量 100cc/mn 及びコークス 30%, 還元温度 1000°C, 同保持時間 60 分の条件で実験した。還元装置は著者等が既報した報告³⁾ で記載したものと同一である。試料量はすべて 10g である。

Fig. 4 の如く、粒度の細かなほど被還元性は大

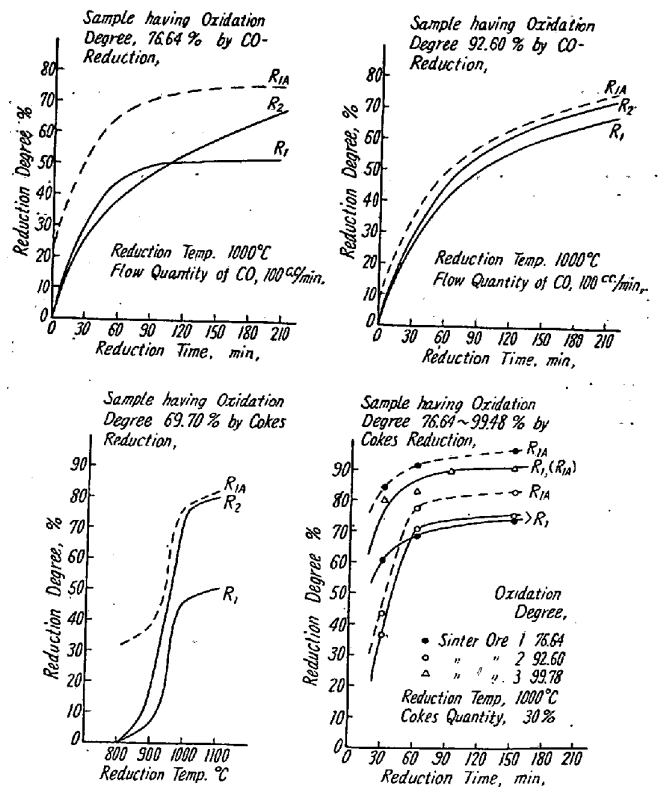


Fig.3 Relation between values of various reduction degrees, symbol R₁ R_{1A} and R₂, calculated from experimental data.

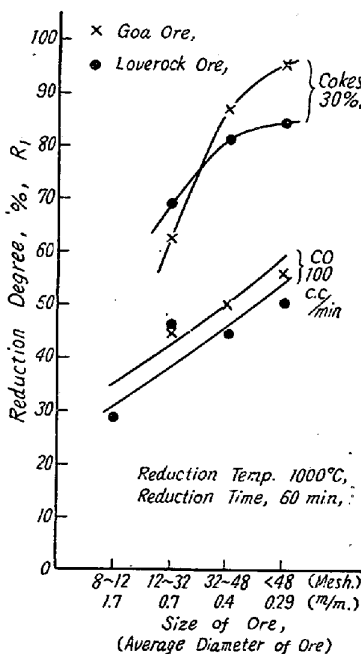


Fig. 4. Relation between size of ore and reducibilities with CO gas and coke.

きい。1.0mm 以下で還元の増進率が高くそれ以上では少々ゆるやかである。CO ガス還元の場合よりもコークス還元の場合の方が粒度の及ぼす影響が強い傾向をみとめる。

B) 被還元性とコークス混合量との関係。還元温度 1000°C, 還元保持時間 60 分粒度を一定とし、ラブロック及びゴアの両鉱を供試してコークス量 10~50% 範囲に涉つて実験した。コークス粒度は 80 mesh の細粉とし、

コークス量 30% 以上の場合にその中の 10% を以つて磁製ボートに入れた鉱粒及びコークス混合物の表面を覆

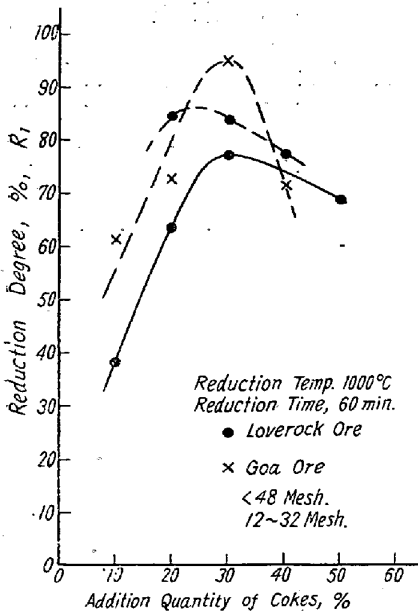


Fig. 5 Relation between addition quantity of coke and reducibilities with coke.

り、還元温度が高く時間が長ければ還元進行程度は大きくなることは周知の事である。本研究でこの関係をCO及びコークス両還元の場合に就いて検討した結果を例示すれば Fig. 6 及び Fig. 7 の通りである。(試料量は鉄粒ですべて 10g である.)

CO ガス及びコークスの両還元を還元温度 1000°C の場合について比較すると、1000°C での初期の還元進行割合はコークス還元の方が遙かに速い。

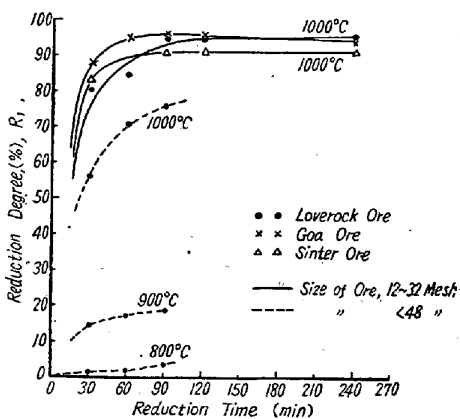


Fig. 6. Relation between reduction time, reduction temperature and reducibilities with coke.

(Additional quantity of coke, 30%)

E) 被還元性と CO ガス流量の関係

反応管内に送る還元用 CO ガスの単位時間当たりの流量は、反応速度が還元ガスと鉄粒との接触程度、還元生

うようにした。試料量は鉄粒で 5g である。

Fig. 5 の如く、コークス量は被還元性に影響を及ぼし、コークス量約 30% の条件で最高となることが明らかとなった。

D) 被還元性と還元温度及び還元保持時間の関係。

本関係に関しては従来より多くの人々によつて研究され、又報告もされている事柄である。

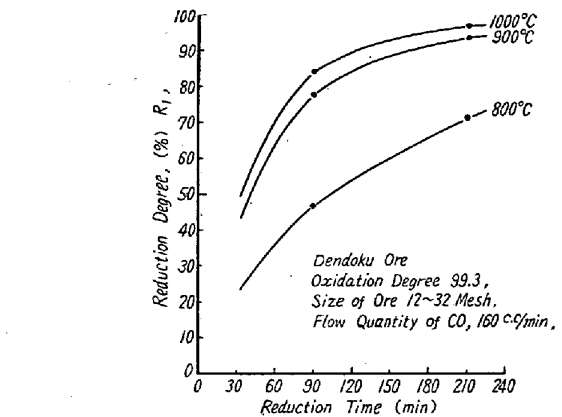


Fig. 7. Relation between reduction time, reduction temperature and reducibilities with CO.

成ガスの拡散等によつて支配されるものである以上、当然、還元実験を行う上で考慮されなければならない因子である。又、被還元性と CO ガス流量の関係は熔鉄炉々内還元反応の速さを把握する上でも確かめておく必要のある事柄である。

CO ガス流量が

被還元性に及ぼす影響は Fig. 8 の如く試料の粒度の場合と同様に顕著である。ラプロック及びゴアの両鉄を試料に供し、粒度 48mesh 以下及び 12~32mesh 還元温度 1000°C 同保持時間 60 分一定にとり、CO ガス流量 50~300 cc/mn 範囲に涉

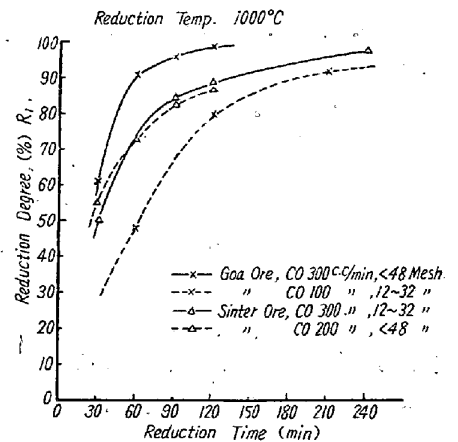


Fig. 8 Relation between reduction time, flow quantity of CO gas and reducibility with CO

り流量の影響程度に就いて実験し確かめた。還元反応量を左右するものは単位時間当たりの流量であり、又試料の量及び流量間の比率が反応量を左右する。上記の流量を cm/sec 単位の流速に換算した数値は、本実験で使用した反応管内の内径が 2.5cm であるから 0.16~1.02cm/sec となる。実際の熔鉄炉内流速に比べて著しく小さい。

Fig. 9 の如く単位時間当たりの流量増加とともに還元率は漸進的に高まり、R₁ 還元率は 100cc/mn 条件で 45~50% であるのに対し 300cc/mn の場合では 70~75% である。

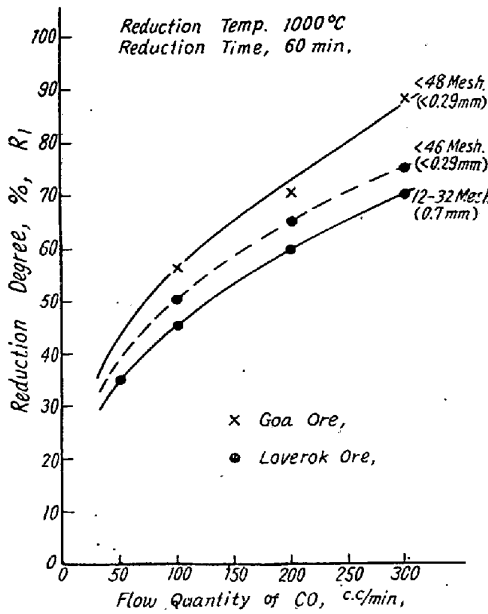


Fig. 9. Relation between flow quantity of CO gas and reducibility with CO

IV. CO 被還元性及び気孔率の関係

周知の如く鉄石気孔率の大小はCO被還元性に影響を及ぼす。T.L. Joseph⁴⁾は、水素還元実験によつて確かめた両者間の定量的関係について発表している。気孔率の大小がCO被還元性に及ぼす影響程度に関し、径約16~20mm、単重15~20g、見掛気孔率15、20、36、及び50%範囲の球状ペレットを供試しCOガス流量300cc/min、還元温度及び同時間1000°C及び30分、60分、90分、120分の各条件で実験し検討した。供試ペレットの平均化学成分及び見掛気孔率はTable 2の如く、鉄質は赤鉄鉄質に近いものである。

Fig. 10 A及びBの如く、気孔率及び還元率間にはほぼ直線関係がみられ、気孔率10%の増減は還元率約10~13%の増減を来たすことが分る。又、同図Bの如く各曲線を外挿することによつて気孔率0%の場合の還元率を仮定できるが、気孔率が極めて低く難還元性である天然磁鉄鉄石の場合にいかん気孔率が被還元性に影響を及ぼしているかをこれから推察されるところである。

V. CO被還元性と粒度及びCOガス流量の関係

Tabl 2. Apparent porosity and chemical analysis of pellets.

Test-piece No.	Apparent porosity	T.Fe	M.Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	S	Average weight of one pellet	Average diameter of pellet.
2	15%	58.07	0.28	0.36	82.24	0.06	15g	16~17 mm
3	20	58.35	tr	8.66	73.81	0.11	20	17~18
4	36	58.35	0.28	0.72	82.24	0.06	20	19~20
1	50	58.35	tr	0.54	82.84	0.02	15	18~19

上記した還元実験データから、試料鉄石粒の直径(球粒と仮定し各粒度範囲の平均径をとる) d mmとCOガス流量及び還元率の間の関係を考察して3者間の関係図を作成し、等径還元率曲線及び等流量還元率曲線を求めた。又、還元反応量に及ぼすCOガス流量及び還元時間

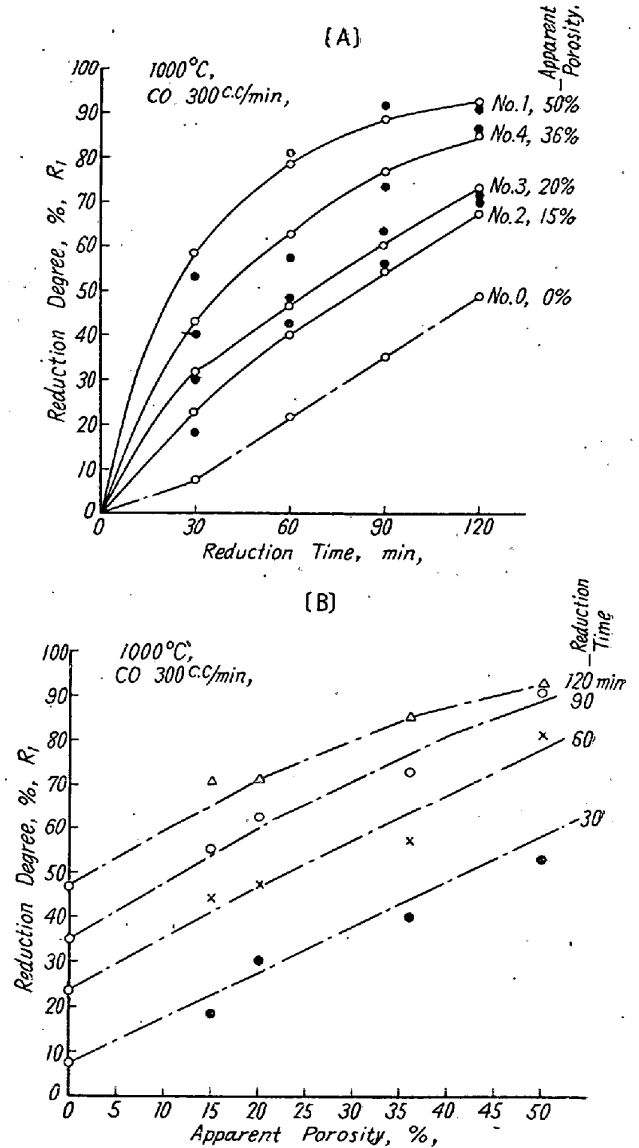


Fig. 10. Relation between reducibility of pellet with CO and its porosity.

の相乗積，即ち全流量の効果を明らかにした。

A) 粒径，CO ガス流量及び CO 還元反応量間の関係

Fig. 9 の CO 被還元性及び CO ガス流量並びに Fig. 4 の粒度及び CO 被還元性の両関係を主に用い CO 流量を 600cc/mn まで拡張した 3 者間の関係を表わす Fig. 11 中の等径還元率曲線を求め，更に同曲線に主に基き幾らかの仮定をおくことによつて同図中の等流量還元率曲線を誘導した。流量 100cc/mn の場合に粒径が極度に細かく無限小である時の還元率を 91.5% に極めて近づくものと仮定した。

粒径 0.25 及び 0.70 mm の両等径還元率曲線の実験式は次ぎの 2 式で表わされる。

$$R_1 = 8.98 \times q^{0.37} \dots \dots \dots d = 0.25 \text{ mm の式}$$

$$R_1 = 7.52 \times q^{0.39} \dots \dots \dots d = 0.70 \text{ mm の式}$$

上式で q は単位 cc/mn の流量を表わす。両粒径の場合に 60 分間で全部が M. Fe にまで還元するに要する流量を算定するに，夫々 468 及び 588cc/mn となる。0.10 及び 1.70 mm 両粒径の場合にも同様な実験式が求まる。

等流量還元率曲線の場合の還元率 R_1 及び粒径 d 間の関係を表わす式は Table 3 の各式となる，

Table 3

CO 流量 cc/mn	関係式	CO 流量 cc/mn	関係式
100	$R_1 = 38.3 \times d^{-0.24}$	400	$R_1 = 76.4 \times d^{-0.08}$
200	$R_1 = 55.5 \times d^{-0.14}$	500	$R_1 = 84.4 \times d^{-0.07}$
300	$R_1 = 66.9 \times d^{-0.11}$	600	$R_1 = 91.3 \times d^{-0.08}$

Table 3 の各関係式は 1 回の実験のために試料量 10g を用い磁製ボートに入れて還元実験を行つた場合の実測値に基いて誘導したものであり，この試料量は直径約 15mm の球状粒 1 個にほぼ相当する。従つて上記の関係式を 15mm 以上の粒径にまで，又気孔率の影響が強く現われてくると考えられるサイズにまで拡張するのはやや妥当性を欠くところであるが，100mm 粒径までの等流量還元率曲線を一応求め Fig. 11 中の破線として示した。同図から CO ガス流量及び粒径の大小が被還元性に及ぼす影響が顕著であることが分る。

Fig. 11 で示される各粒径の還元率を更に各流量及び還元時間 60 分間の相乗積，即ち 60 分間の全流量から流量 300cc/mn の場合に換算した還元時間との関係として Fig. 12-[I] の如く変換し，実験により別に流量 300cc/mn 条件下で求めた粒径 0.29mm の実験値（同図中△印曲線）と対比した。比較的良く合致した。

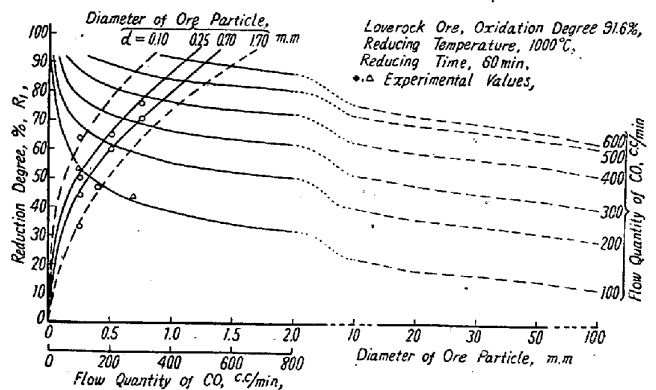


Fig. 11. Relation among reducibility with CO, size of ore and flow quantity of CO.

この事から，還元反応速度は単位時間当りの流量cc/mn により左右されるが，還元反応量は全流量によつて強く左右されるものであると言ふことが出来る。上記の結果から流量，粒径，等還元率曲線の関係として更に図示するに Fig.-[II] の如くなる。

以上は，酸化度 91.5% の赤鉄鉱質ラブロック鉄の場合に 1000°C，60 分間条件で還元実験を行つたデータから誘導した関係に就いて記したものであり，物理化学的性質を異にする他の銘柄の場合に，殊に磁鉄鉱質鉄石の場合に，あるいは又温度範囲 1000°C 以下の場合に全く同じような関係が成立つか否かは実験により確かめる必要がある。しかし，数値の上で相違をみても全般的な傾向としては同じ関係が存在すると考えて大きな誤りはな

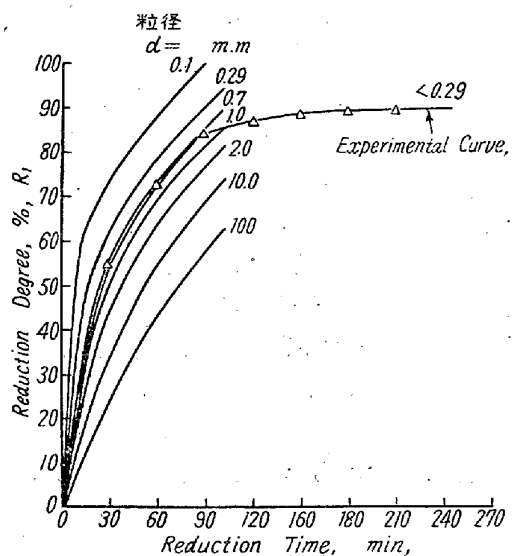


Fig. 12 [I]

Relation between reduction degree and reduction time converted into those in the case of flow quantity of 300cc/mn based on the product of a mass of flow quantity of CO per unit time and reduction time.

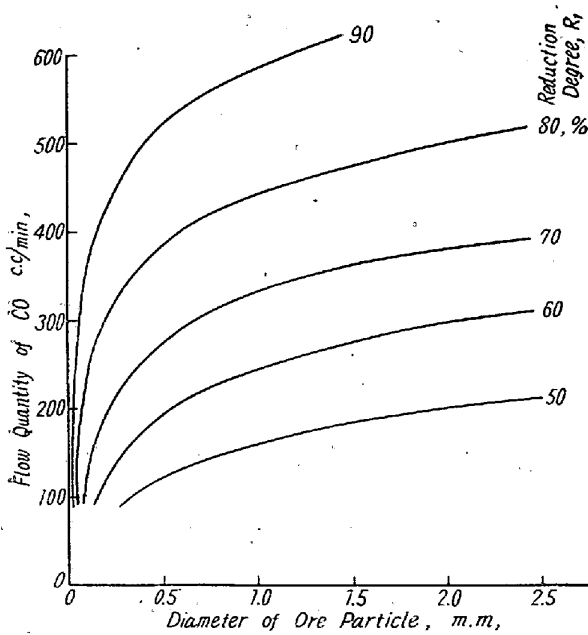


Fig. 12 [I]

Relation among various reduction degree,
flow quantity of CO and size of ore
(Loverock ore, 1000°C, 60mn)

いものと思う。

B) サイジングと熔鉱炉操業

最良の炉況，最高の出鉄量，最底のヨークス比を維持するための操業条件として，低風圧に対して高風圧，或いは又装入速度が低速に対して迅速の方が良いというように，いろいろの見解^{9)~8)}があり，未だ決定的な基準というものは無いようである。

前項で記した鉄石粒度，CO ガス流量及び CO 被還元性の関係からサイジング及び炉内ガス流速に就いて次の如く考察した。

装入鉄石当りのガス流量，従つてガス流速を高めることは炉内還元反応を可逆とさせず，迅速操業を行い出鉄量を上昇するために効果的な一方法であると推察できる。送風量が重要な因子となるものと考えられる。鉄石サイズの大小はシャフト部の CO 還元進行を左右するが実際に熔鉱炉に装入される鉄石のサイズは粒度が顕著な影響を及ぼす範囲外にあるとみてよい約 15mm 以上であるのが普通であつて，ガス流量ほどの影響を粒度の場合では考慮せずともよいように思われる。

T.L. Joseph⁹⁾, S.P. Kinney¹⁰⁾, C.C. Furnas¹¹⁾ 等によつて報告されているように，サイジング並びに装入方法は炉内装入物分布及びガス流分布の状態を左右し炉内還元反応に影響を及ぼすから粒度の大小よりもその分布が均一か否かが重要な因子であると考えられる。要するにサイジングの主目的は，一様な Void 分布による

一様な炉内ガス流を実現するための粒度分布の均一化にあり，鉄石サイズを小さくすることにはないと考えてよいと思う。1種の熱交換機の機能を有つ熔鉱炉シャフト部に於けるガス流が均一に，しかも量的にも多量に流れることは迅速装入を可能にし熱効率を高めることとなることは論を俟たない。勿論，装入物容積の大半以上を占めるヨークスのサイズ分布が鉄石サイズ分布以上に炉内 Void 分布状態を左右するから，鉄石の場合のサイジングは主にシャフト部の被還元性に重点をおきサイズを可及的に細かにするのが幾らかでも有利であると考えられる。

VI. 総 括

1. 酸化度並びに還元率の表示計算法に就いて検討し相互の関係及び相違点を明瞭にした。又異なる酸化度の鉄石の正味の還元率を表示できる最も妥当と考えられる還元率表示法を決めた。

2. CO ガス及びヨークス両還元実験に於いて，鉄石粒度の細かなほど被還元性は良好となる。この傾向は本実験条件内で特に径 1.0mm 以下で極めて著しく，それ以上の粒径では左程顕著でない。

3. ヨークス還元実験に於いてヨークス混合量約30%条件の場合に還元率は最高となる。

4. CO ガス被還元性は，CO 流量 (cc/mn) の増加とともに漸次増大する。

5. GO ガス被還元性は，気孔率 10% の増減が還元率が約 10~13% の増減に相当する割合で気孔率の大小による影響をうける。

6. 赤鉄鉄質の場合について主に還元実験結果に基づき CO ガス流量 (cc/mn)，粒径及び CO 被還元性間の相対的な関係を考究し，粒径を 100mm，流量範囲を 600cc/mn に拡張した 3 者間の関係図を作成した。この関係図から単位時間当り CO 流量が粒度以上に強く被還元性に影響すること，CO 流量及び還元時間の相乗積としての効果がみられることが推定された。

以上は，還元温度及び同時間が 1000°C, 1h という限られた実験条件範囲内で実験した結果，並びにそれに主に基いて考究した事柄を述べたものであるが，さらに実験条件を拡げた場合の影響について研究を進めていることを附言する。(昭 29—9 月寄稿)

文 献

- 1) W. Feldmann: St. u. Eis, 1951, Nr. 13, 21, S. 669
- 2) 大石, 石部: 鉄と鋼, 昭和 6 年, 17

- | | |
|---|---|
| 3) 佐々木, 安達: 鉄と鋼 第 39 年, 昭和 28 年, 第 11 号, p. 1221 | 7) J.M. Avery: A.I.M.E. Techn. Publ. 1938 No. 921, p. 10 |
| 4) T.L. Joseph, F.W. Scott: Blast Furnace & Steel Plant, 1940 Oct, p. 975 | 8) L. Grenet: Chal. et. Ind. 1938 |
| 5) F.M. Rich: A.I.M.E. Techn. Publ, 1935 No. 617, p. 23 | 9) T. L. Joséph: Fuels & Furnc, 1928 35 |
| 6) E. Diepschlag: Arch. Eisenhütt. 1936/37 10, S. 179/81 | 10) S. P. Kinney: U.S. Bur. Min. Techn. Paper, 1929 p. 2939 |
| | 11) C.C. Furnas: U.S. Bur. Mines. Bulletin, 1929 p. 307 |

熔 銑 の 改 良 研 究 (I)*

(酸素吹込について)

青木猪三雄**・鳥取友治郎***

THE IMPROVEMENT IN PROPERTIES OF MOLTEN IRON (I)

(On the Blow of Oxygen)

Isao Aoki and Tomojiro Tottori

Synopsis:

Oxygen has been commonly used in steel making, but in the production of cast iron scarcely used to improve the quality of molten iron except the some attempts of its use in cupola, because it has been believed excessively that oxygen is harmful element to cast iron.

But by blowing the adequate amount of oxygen into molten iron, some interesting results was obtained as follows.

- (1) Carbon and silicon contents of cast iron could be controlled and its mechanical properties were improved.
- (2) Oxygen content of cast iron treated by oxygen was not increased and the amount of impurities in cast iron-Ti, Cr, V and etc.-were decreased.
- (3) Even the unsuitable pig irons for ductile cast iron were perfectly nodularized and elevated in the mechanical properties by magnesium treatment after the blow of oxygen into molten iron.

I. 結 言

製鋼作業における酸素の利用は最近では、ほぼ普通の操業になつているが、鑄鉄分野においてはほとんど利用されていない。僅かに最近ソ連でキューポラー熔湯の一部を転炉に入れ酸素吹込みを行い適当な C, Si 量にしたものを用いて C, Si の低い優良な鑄物を得たと報告しているが¹⁾、正確なところは不明である。鑄鉄への酸素利用が行われなかつた原因は鑄鉄での酸素の悪影響²⁾³⁾等があまりに多く論議されているためではなからうかと

考える。しかし、以下のべる実験により熔銑への適量の O₂ 吹込は鑄鉄の組成並びに性質を變じ、所要の C, Si 量になすことが出来るのみならず、性質を著しく改良し現在までノヂュラー鑄鉄用銑鉄として利用でき得なかつた不良といわれる原料をもノヂュラー鑄鉄用原料として利用できることが確められたので、これら結果について述べる。

II. O₂ 吹込による組成及び性質変化

熔銑への O₂ 吹込による脱 Si, 脱 Mn, 脱 C等については製鋼作業にて相当研究されているが、鑄鉄分野に利用する場合の O₂ 吹込量及び時間の影響を調べるために予備実験を行つた。

* 昭和 29 年 10 月本会講演大会にて発表

** 富士製鉄釜石製鉄所 理学博士

*** 工