

技術報告

熔融酸化鉄の固体炭素および溶鉄中炭素による還元速度

佐藤 彰*・荒金吾郎*²・上平一茂*²・吉松史朗*

Reduction Rate of Molten Iron Oxide by the Solid Carbon or the Carbon in Molten Iron

Akira SATO, Goro ARAGANE, Kazushige KAMIHIRA and Shiro YOSHIMATSU

Synopsis :

The reduction rates of molten iron oxide by the solid carbon or the carbon in molten iron were measured, in order to collect basic data on the smelting reduction process which consists of blowing powder iron ore and powder coal into molten iron bath with oxygen gas for a partial combustion. Molten iron oxide in a steel or an alumina crucible was reduced by a rotating carbon rod. The carbon in molten iron in an alumina crucible was reacted with molten iron oxide which was melted in a steel container beforehand. The reduction rates were calculated from the amount of CO gas evolved. The following results were obtained :

(1) The reduction rates of molten iron oxide by the solid carbon were $0.21-0.82 \times 10^{-4}$ mol-FeO/cm²·s at 1 420-1 620°C, and the activation energy of the reaction were 75 and 31 kcal/mol for a steel and alumina crucibles, respectively.

(2) The reduction rates of molten iron oxide by the carbon in molten iron were $1.1-3.3 \times 10^{-4}$ mol-FeO/cm²·s at 1 420-1 620°C, and the activation energy of the reaction was 44 kcal/mol.

(3) It was concluded that the reaction rate between the solid iron oxide and the carbon in molten iron was the highest among reactions between the solid or the molten iron oxide and the solid carbon, the carbon in molten iron, CO, or H₂ gas.

Key words : ironmaking ; smelting reduction ; direct reduction ; reduction ; reduction rate.

1. 緒 言

熔融還元法による製鉄法が、高炉、シャフト炉法と比較できる経済性を有するには、炉の体積当たりの生産性が高い必要がある¹⁾。高炉、シャフト炉は充填層反応器であり、熱交換と反応の効率が高い。これに対抗するには、高い生産性を得る特別な熔融還元法を開発しなければならない。一つの方法として、溶鉄中に粉状の鉄鉱石と石炭を吹き込むことにより、反応界面積を増大させることが考えられる。この場合、還元反応に必要な大量の熱の供給、および、侵食性の著しい熔融酸化鉄の容器の耐火物が解決すべき重要な問題であり、種々の方法が提案されている²⁾。

Table 1 は溶鉄中に吹き込まれた鉄鉱石と石炭の考えられる素反応と、これまでの研究によるデータの量について著者の判定を示す。同時に、著者らがデータが少なく考えて、一連の研究を行ってきた素反応(◎印^{3)~6)}、

および、本研究で反応速度を求めようとする素反応(●印)を示す。素反応として、酸化鉄(Fe₂O₃)、脈石およびりん化合物から成る鉄鉱石が、解離、分解、熔融、

Table 1. Elementary reactions of iron ore and coal blown into molten iron bath.

Molten iron bath at 1300 ~ 1600°C			<Iron ore>				
			1. Iron oxide 2. Gangue 3. P				
			—	x ◎	x ◎	x ◎	x
			<Fe ₂ O ₃ >	<Fe ₃ O ₄ >	<FeO>	{FeO}	{FeO}s
<Coal>	Δ	(H ₂)	○	○	○	Δ	Δ
	Δ	(CO)	○	○	○	Δ	Δ
	x	(CmHn)	Δ	Δ	Δ	x	x
	x	<C>	○	○	○	Δ ●	Δ ◎
3. Ash	Δ ◎	{C}m	Δ ◎	Δ ◎	Δ ◎	x ●	x ◎
4. S	x	{C}s	x	x	x	x	x

State : < > Solid | | Liquid or dissolved () Gas
m ; metal s ; slag
Data : ○ Plenty △ Several × None ◎ With a series of the research ● Present work

昭和 59 年 4 月・60 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 61 年 2 月 28 日受付 (Received Feb. 28, 1986)

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

*² 金属材料技術研究所 (National Research Institute for Metals)

溶融スラグへ溶解する過程（各行の外側），また，固定炭素，揮発成分，灰分，硫黄化合物から成る石炭が，蒸発，分解，溶鉄および溶融スラグへ溶解，酸素による部分燃焼の過程（各列の外側）も入っている．溶融還元法の開発においては，これらの諸過程と，生成される5種類の酸化鉄と6種類の還元剤から成る30の素反応の反応速度が必要である．

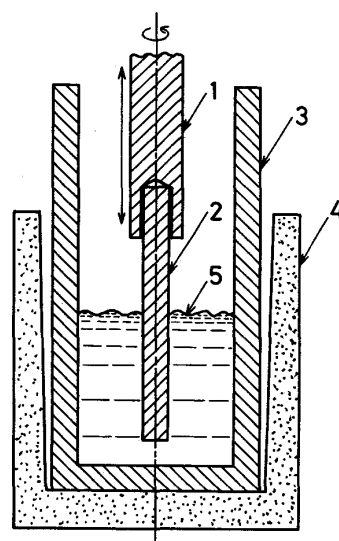
2. これまでの研究および研究方針

固体炭素による溶融酸化鉄の還元反応については，FeO 濃度によって反応様式が変化し，50% 以上の高濃度域では，いわゆるソリューションロス反応が律速するとされている⁷⁾．これまでの研究の多くは，加熱した黒鉛のつばに酸化鉄を投入し，発生するガスの組成と体積を測定することにより還元率を計算している^{8)~12)}．この実験方法では，生成した鉄に炭素が溶解して還元反応に関与することが懸念される．生成した鉄に炭素が溶解して還元反応に関与することがないと考えられる回転炭素棒を用いた実験では，還元率を溶融スラグの分析値から求めているため，純 FeO 融液を使用していない¹³⁾．そこで，本研究では，回転炭素棒で純 FeO 融液を還元し，発生する CO ガスの体積から還元速度を求めることにした．炭素棒の回転数は，棒の表面に生成した鉄が付着しない速度でよいことにした．FeO 融液の容器としては，鉄のつばが最適であるが，鉄の融点（1539°C）以上の実験は不可能であり，実際上は1500°Cが限度であった．これ以上の温度の実験は，半融アルミナるつばが緻密で FeO 融液による侵食も少ないことから，このるつばを使用して行うことにした．

溶鉄中炭素による溶融酸化鉄の還元速度についてのこれまでの研究は，炭素を含有する溶鉄表面に，固体酸化鉄を投下した実験がほとんどであり，固体酸化鉄または一部液体状態の酸化鉄が反応したと考えられる^{3)12)14)~16)}．LLOYDら¹⁶⁾は，鉄容器に少量の酸化鉄を融解した後溶鉄中炭素と反応させた結果，固体酸化鉄投下の場合より約10%の反応速度の低下を報告している．そこで，鋼容器に酸化鉄を融解した後，容器底を溶解除去することにより溶鉄と反応させることにした．溶融酸化鉄が溶鉄表面を被うよう，十分な量を使用することにより，反応界面積を溶鉄表面として計算できるようにした．

3. 実験方法

実験装置は3kg 雰囲気溶解タンマン炉を主とし，炉の温度を $\pm 5^{\circ}\text{C}$ に制御した．還元反応の結果発生する



1: Graphite rod 15 ϕ 2: Graphite rod 3~10 ϕ 3: Iron or alumina crucible 50 mmID 4: Alumina crucible 5: FeO melt

Fig. 1. Experimental apparatus for the reduction of molten iron oxide by the solid carbon.

CO ガスの体積を積算型湿式実験用ガスメーターで測定した．

Fig. 1 は固体炭素による還元の実験方法を示す．銅または半融アルミナるつば（内径 50 mm，深さ 190 mm）に深さ約 100 mm の溶融酸化鉄を保持する．酸化鉄として1級の Fe_2O_3 を還元した FeO (93.8% FeO) を用いた．炭素棒は純度がファイブナイン，直径が 3~10 mm，回転数は 0, 6, 60 rpm であった．実験手順は以下のである：窒素ガス中所定温度に保持された溶融酸化鉄を鉄棒で攪拌する．炭素棒を溶融酸化鉄表面上約 10 mm まで降下して 3 min 加熱し，その後 2 min 窒素ガス流量を測定する．炭素棒を溶融酸化鉄中に浸漬して 5 s ごと，3 min ガス流量を測定する．酸化鉄から引き抜いた炭素棒を窒素ガスにより急冷し，冷却後直径と浸漬深さを測定する．各条件について複数回の実験により再現性を確認する．

Fig. 2 は溶鉄中炭素による還元の実験方法を示す．前記の半融アルミナるつばに電解鉄と電極黒鉛から溶製した約 1.5 kg の Fe-C 合金を溶解した．炭素濃度を一定とする目的で，るつば底に黒鉛ブロックを接着した実験も行つた．るつば上部の黒鉛円筒は，スプラッシュからの保護と，発生した CO_2 ガスを CO ガスに変換させることが目的である．酸化鉄容器は鋼製（内径 28 mm，深さ 90 mm）であり，酸化鉄重量は主に 50 g であった．実験手順は以下のである：窒素ガス中所定の温度に保持した溶鉄を攪拌し，表面を清浄にした後，炭素分析

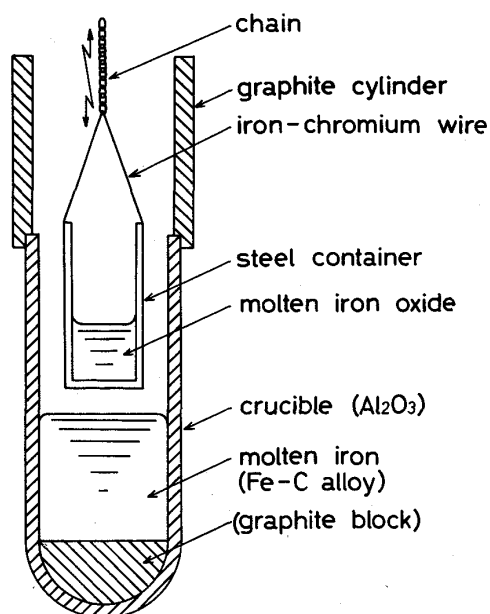
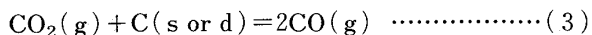
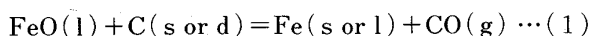


Fig. 2. Experimental apparatus for the reduction of molten iron oxide by the carbon in molten iron.

試料を石英管で採取する。鋼容器を鉄浴上約 10 mm まで降下し、酸化鉄を溶解しながら窒素ガス流量を測定する。酸化鉄の溶解時間は、実験温度と酸化鉄量によって変化し、8~15 min であり、覗き窓から溶解を確認する。鋼容器を溶鉄に接触させて底を溶解除去し、反応を開始させる。5 s ごと、3 min ガス流量を測定する。複数回の実験により再現性を確認する。

4. 実験結果

溶融酸化鉄の固体炭素または溶鉄中炭素による還元では、以下の (2) および (3) 式の反応も並発して起こるが、総括反応式としては (1) 式で表される。



ここで、括弧内の d, g, l, s は、溶解、気体、液体、固体を示す。黒鉛るつばの側壁をアルミナ管で覆い、るつば底面だけで酸化鉄と反応させたときに発生するガスの $\text{CO}_2/(\text{CO} + \text{CO}_2)$ は 0.17 であるのに対して、側壁も黒鉛のときは 0.055 であるという結果¹²⁾ から、(3) 式の反応も起こることは確かである。しかし、本研究では、総括反応速度が重要であると考え、(1) 式によってデータを整理することにした。るつば上方に赤熱黒鉛を設置しないときでも、 $(\text{CO} + \text{CO}_2)$ に対して CO_2 濃度は高い場合で約 1% である¹⁷⁾ ことから、るつば上方に赤熱黒鉛を設置した本実験では、 CO_2 ガス濃度は無

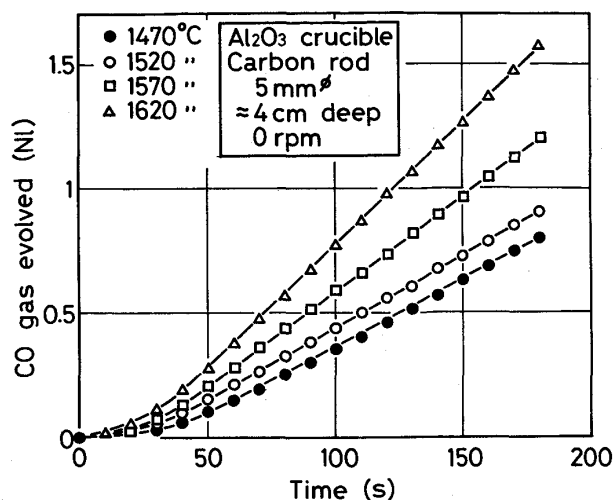


Fig. 3. Amount of CO gas evolution and the time during the reduction by the solid carbon.

視できる。したがって、CO ガス発生速度から反応速度を計算した。本報では、他の報告の結果と比較するため、見掛けの反応速度定数を ($\text{mol-FeO}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$) に変換して使用することにした。

4.1 固体炭素による還元速度

Fig. 3 は CO ガス発生量と時間の関係を示す。アルミナるつば、炭素棒の直径 5 mm、浸漬深さ約 40 mm、静止の条件であった。ガス発生量は炭素棒浸漬後約 40 s までは少ないが、50 s 以後はほぼ直線的に増加している。CO ガス発生速度はこの直線の勾配から求めた。反応界面積は実験終了後の炭素棒の直径と浸漬深さを測定して求めた。実験終了後の炭素棒は、実験温度が低くて反応量が少ない場合を除き、底面端部が丸くなり、メニスカス部にわずかな凹みができた。また、実験終了後の炭素棒の表面層は、実験前より軟らかいことも観察された。反応界面積としては、底面面積とメニスカス曲面の面積を無視し、直径と浸漬深さから計算した。底面面積を無視する理由は考察で述べる。

4.1.1 炭素棒の浸漬深さ

Fig. 4 は鋼るつば中の溶融酸化鉄に直径 5 mm の炭素棒を浸漬したときの還元速度と浸漬深さの関係を示す。還元速度は、浸漬深さが 20 mm 以下では高くなる傾向にあり、20 mm 以上ではほぼ一定になることがわかった。還元速度は高温ほど高いが、炭素棒の回転数の影響はほとんど認められない。以下の実験では浸漬深さを約 40 mm とした。

4.1.2 温度

Fig. 5 は鋼およびアルミナるつば中の溶融酸化鉄の

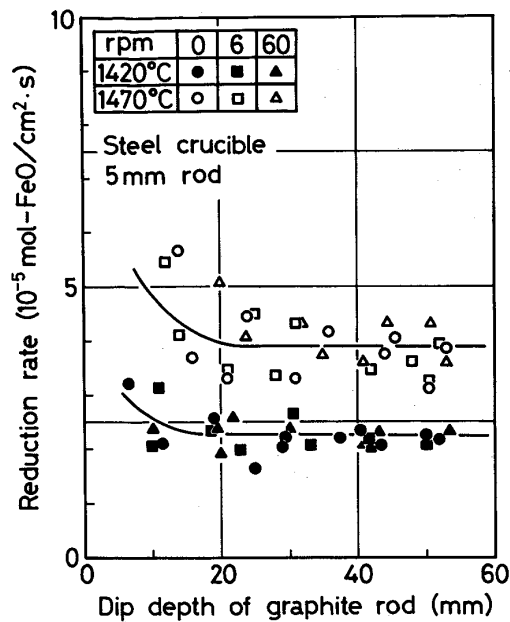


Fig. 4. Reduction rates and the dip depth of carbon rod.

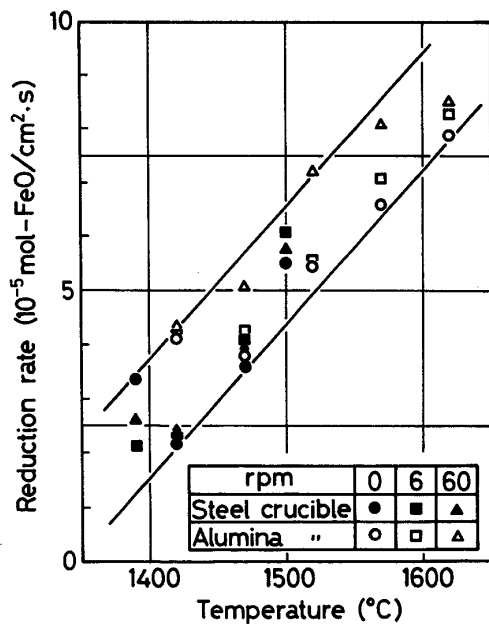


Fig. 5. Reduction rates by the solid carbon and the temperature.

還元速度と温度の関係を示す。実験結果は2本の直線内にはほぼ収まるが、詳しく見ると、鋼るつばの1390°Cの還元速度は1420°Cのものより高く、アルミナるつばの1420°Cの還元速度が鋼るつばの1420°Cのものより高いことが示されている。鋼るつばの1390°C、アルミナるつばの1420°Cの実験では、炭素棒が局部的に著しく反応して数個の凹みが発生することが観察され

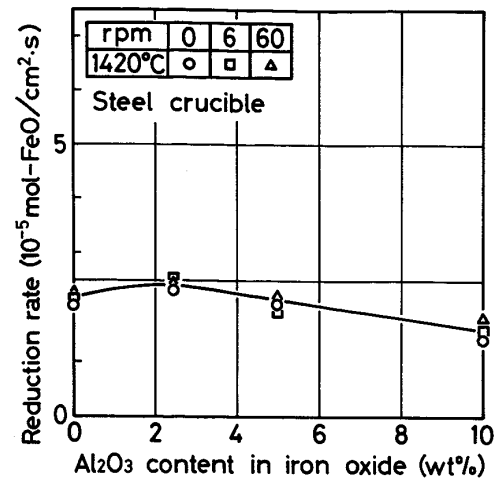
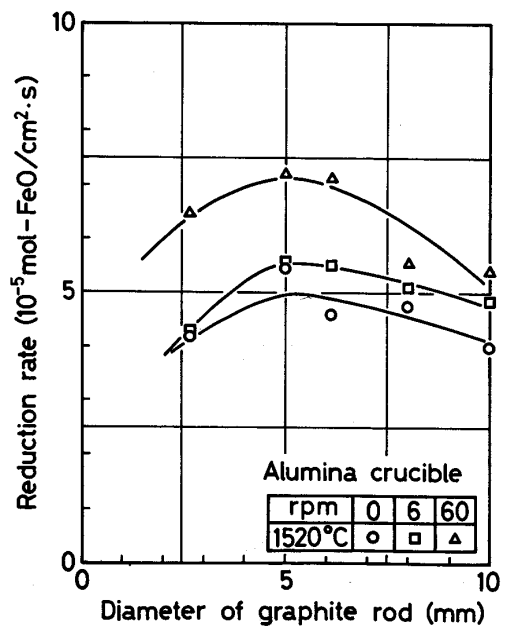

 Fig. 6. Reduction rates by the solid carbon and the Al_2O_3 content in molten iron oxide.


Fig. 7. Reduction rates by the solid carbon and diameter of carbon rod.

た。

4.1.3 溶融酸化鉄中の Al_2O_3 濃度

鋼るつばの使用限度は1500°Cまでであり、これ以上の温度の実験には半融アルミナるつばを使用した。このるつばを使用したとき、12回実験後の溶融酸化鉄中の Al_2O_3 濃度は、実験温度が1420, 1520, 1620°Cの場合に、4, 11, 18%であった。還元速度に及ぼす Al_2O_3 濃度の影響をFig. 6に示す。FeO粉と Al_2O_3 粉(1級試薬)を良く混合して鋼るつばで溶解した。還元速度は、約2.5% Al_2O_3 で極大となり、2.5%以上では Al_2O_3 濃

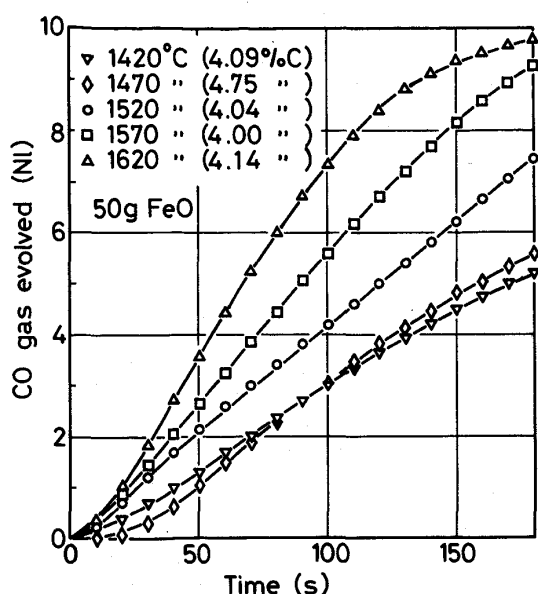


Fig. 8. Amount of CO gas evolution and the time during the reduction by the carbon in molten iron.

度が上昇すると共に低下した。

4.1.4 炭素棒の直径

Fig. 7 は還元速度と炭素棒の直径との関係を示す。還元速度は炭素棒の直径が 5 mm で極大となった。また、アルミナるつぼによるこの実験では、炭素棒の回転数が高いほど還元速度が高いことが示された。炭素棒を 60 rpm で回転させると、回転によつて融液面が凹になり、炭素棒の浸漬深さが減少することが認められた。

4.2 溶鉄中炭素による還元速度

Fig. 8 は炭素濃度が 4% 以上の場合の CO ガス発生量と時間の関係を示す。FeO 融液の比重が 3.5~4.5 g/cm³ とすると、50 g の場合に融液の深さは 6~7 mm になるので、溶鉄表面は熔融酸化鉄により完全に被覆されると考えられる。50 g の FeO が還元されたときに発生する CO ガス量は 15.6 NI である。熔融酸化鉄を溶鉄上に添加したとき、還元反応が盛んになるまでの初期は反応速度が遅く、また、熔融酸化鉄量が減少して溶鉄表面を完全に覆わなくなると再び反応速度は減少するので、1620°C の場合に明らかなように、S 曲線になると考えられる。したがって、界面積を溶鉄表面積として計算する場合には、熔融酸化鉄が溶鉄表面を完全に覆うとき、すなわち、ほぼ直線関係となるときの CO ガス発生速度から還元速度を計算した。

4.2.1 炭素濃度

Fig. 9 は還元速度と溶鉄中炭素の活量との関係を示す。還元速度は高温、低炭素活量ほど高いことが示された。活量が 0.5 以上では、還元速度はほぼ一定になる

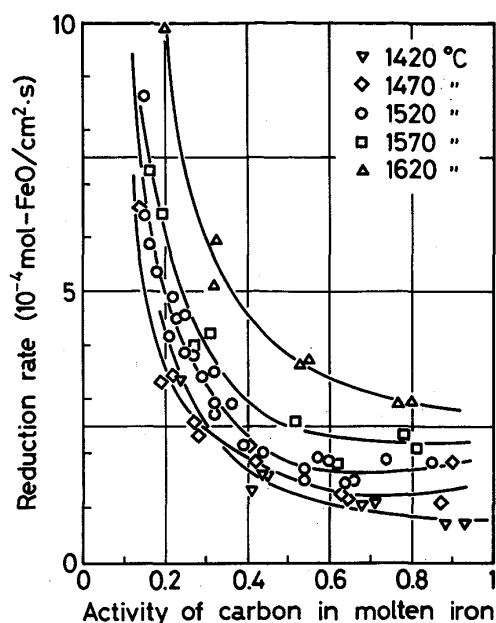


Fig. 9. Reduction rates and the activity of carbon in molten iron.

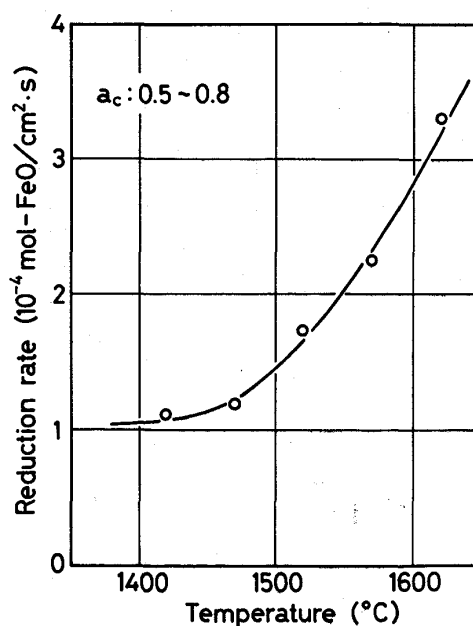


Fig. 10. Reduction rates by the carbon in molten iron and the temperature.

ことがわかる。

4.2.2 温度

Fig. 10 は還元速度と温度の関係を示す。1420°C の還元速度が、1470°C のものに近いことを除くと、還元速度は、高温ほど高いことがわかる。

4.2.3 酸化鉄量

アルミナるつぼの底に黒鉛ブロックを接着したときの

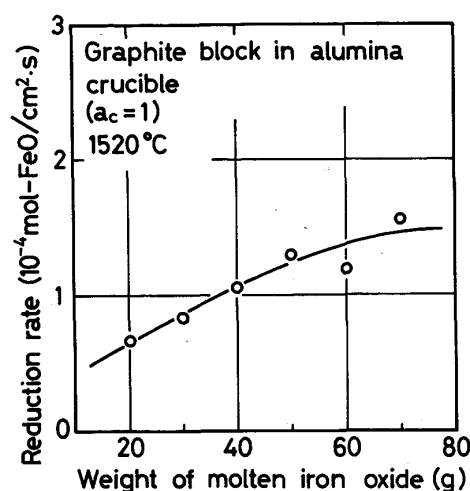


Fig. 11. Reduction rates by the carbon in molten iron and the weight of molten iron oxide.

還元速度と溶融酸化鉄量との関係を Fig. 11 に示す。還元速度は、酸化鉄量が増加するにしたがつて上昇することがわかる。

5. 考 察

炭素棒の底面端部が実験前と同じであるとき、底面面積が側面面積の 5% 以下になるのは、直径が 5 mm では浸漬深さ 25 mm 以上である。実験後の炭素棒の底面端部は丸くなり、メニスカス部に幅の狭い浅い凹みが形成された。底面が球状になれば、界面積は側面面積と等しくなることから、浸漬深さが約 20 mm 以上では、底面面積を無視しても、5% 以下の影響になると考えられる。以上のことから、Fig. 4 の結果は説明できる。

Fig. 5 において、鋼るつばの 1390°C、アルミナるつばの 1420°C の実験後、炭素棒に数個の凹みが形成され、反応速度が速いことは、溶鉄中炭素による還元速度が固体炭素によるものより著しく速いことから、炭素棒の表面に生成した鉄が付着し、鉄に溶解した炭素によつて還元速度が速くなったからであると考えられる。

Fig. 12 は、Fig. 5 と Fig. 10 のデータをアレニウスプロットしたものである。アルミナるつばでの 1420°C、鋼るつばでの 1390°C の点を除外すると、良好な直線関係が得られ、これから計算された活性化エネルギーは、溶鉄中炭素による還元で 44 kcal/mol、鋼およびアルミナるつばを用いた固体炭素による還元で 75 および 31 kcal/mol である。後掲の Table 2 および 3 に見られるように、溶鉄中炭素による還元では他の報告とほぼ同じである。アルミナるつばを用いた固体炭素による還元では、他の報告のものよりわずかに低い値であるが、鋼るつ

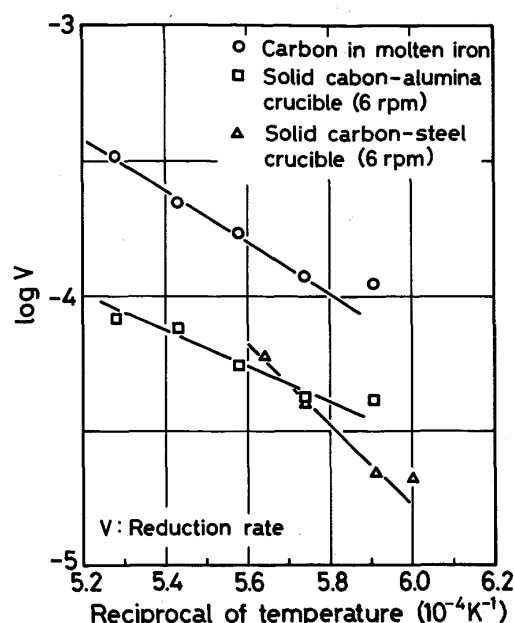


Fig. 12. Arrhenius plot of data in Fig. 5 and Fig. 10.

ばの場合には高い値となつている。40% CaO-40% SiO₂-20% Al₂O₃ 溶融スラグ中の酸素の拡散の活性化エネルギーは 60-85 kcal/mol¹⁸⁾ であり、鋼るつばでの結果はこの範囲にあるが、FeO 融液中の酸素の拡散についてのデータがない。酸化鉄中に CaO, SiO₂, Al₂O₃ などの酸化物が入ると、活性化エネルギーは低下するようである。

Fig. 6 に示される溶融酸化鉄中の Al₂O₃ 濃度が 2.5% で還元速度が最大になることは、共晶点が 6% Al₂O₃ である¹⁹⁾ ことから、1420°C では 6% Al₂O₃ で粘性が最小になると考えられること、および酸化鉄濃度から説明できる。すなわち、還元速度は、粘性が低い方が高く、酸化鉄濃度が高い方が高いので、6% と 0% Al₂O₃ の間の 2.5% Al₂O₃ で最大となつたと考えられる。

Fig. 7 に示される炭素棒の直径が 5 mm のときに還元速度が最大になることは、この直径のときに CO ガス気泡の発生が最も容易になるからではないかと推測されるが、詳細な機構は不明である。アルミナるつばでは、鋼るつばの場合に相違し、炭素棒の回転数が高いほど、高い還元速度が得られている。このことは、炭素棒の回転により反応界面の境膜が薄くなるためと考えられる。先述の見掛けの反応速度の活性化エネルギーの差と併せて考慮すると、るつばによつて律速段階が変化していると思われる。

溶鉄中炭素による溶融酸化鉄の還元においては、生成

ガス相が液-液界面に介在し、反応式 (2) と (3) が並発反応として進行するとされている⁷⁾。Fig. 11 に見られる、溶融酸化鉄量の増大と共に、還元速度が上昇す

ることは、溶鉄-溶融酸化鉄界面で発生した CO ガスが、溶融酸化鉄中を浮上逃散する間に (2) 式の反応が起こることが主な原因と考えられる。さらに、溶融酸化鉄量

Table 2. Researches on the reduction rate of molten iron oxide by the solid carbon.

Author (Year)	Reductant	Iron oxide	Temperature (°C)	Area estimated (cm ²)	Reduction rate 10 ⁻⁴ (mol-FeO/cm ² ·s)	Activation energy (kcal/mol)
KONDAKOV (1960)	Graphite crucible	FeO 0.3 g	1 450 1 600	Unknown	4.81 5.53	38
RUIDJONKOV (1960)	Graphite crucible	FeO 0.3 g	1 450	Unknown	3.94	—
SUGATA (1972)	Graphite rod	Molten SiO ₂ —69% FeO —78% FeO —69% FeO	1 350 1 400 1 450	31.4 28.6 31.4	0.09 0.19 0.23	40
TAKAHASHI (1975)	Graphite crucible	Fe ₂ O ₃ ore 12 g	1 410 1 570	~30 ~30	0.20 0.79	56
SASAKI (1978)	Graphite crucible	FeO 10 g CaO-SiO ₂ —80% FeO 10 g —80% FeO 10 g —80% FeO 10 g	1 400 1 500 1 600 1 400 1 500 1 600	~25 ~25 ~25 ~25 ~25 ~25	0.11 0.26 0.56 0.50 0.72 0.99	52 20-30
TSUKIHASHI (1982)	Graphite crucible	Fe ₂ O ₃ ore 10 g	1 400 1 500	~ 9 ~ 9	0.26 0.42	—
Present work	Graphite rod 6 rpm	Molten FeO in alumina crucible Molten FeO in steel crucible	1 470 1 520 1 620 1 420 1 470 1 500	~ 7 ~ 7 ~ 7 ~ 7 ~ 7 ~ 7	0.42 0.54 0.82 0.21 0.41 0.61	31 75

Table 3. Researches on the reduction rate of molten iron oxide by the carbon in molten iron.

Author (Year)	Reductant	Iron oxide	Temperature (°C)	Area estimated (cm ²)	Reduction rate 10 ⁻⁴ (mol-FeO/cm ² ·s)	Activation energy (kcal/mol)
DANCY (1951)	4.3 wt% C 50 g	FeO 0.5 g Fe ₃ O ₄ 0.5 g	1 430 1 500 1 610 1 580 1 650	~1 ~1 ~1 ~1 ~1	31.73 34.80 86.99 34.80 48.99	43 37
MAC RAE (1965)	Sat. C 600 g	Fe ₂ O ₃ 3 g	1 335 1 450	~3 ~3	4.03 8.80	27-44
LLOYD (1975)	4.15 wt% C 200 g	Fe ₂ O ₃ 0.7 g	1 400 1 600	0.54 0.44	7.94 50.12	56
SATO (1981)	Sat. C 1 500 g	FeO 20 g Fe ₃ O ₄ 30 g Fe ₂ O ₃ 15 g	1 420 1 520 1 620 1 420 1 520 1 620 1 420 1 520 1 620	~7.7 ~7.7 ~7.7 ~8.6 ~8.6 ~8.6 ~7.3 ~7.3 ~7.3	3.55 5.18 8.58 5.41 8.35 10.48 5.82 8.13 11.68	42 23 23
TSUKIHASHI (1982)	3 wt% C 100 g	Fe ₂ O ₃ ore 10 g	1 500	~6	2.32	—
Present work	3-4.5 wt% C 1 500 g	Molten FeO (50 g)	1 470 1 520 1 620	19.6 19.6 19.6	1.19 1.73 3.30	44

が少ない場合には、CO ガスが気泡となつて逃散する際に、上方の覗き窓から溶鉄表面が時々見える事実から、反応界面積の減少が原因と思われる。

本研究およびこれまで報告されている溶融酸化鉄の固体炭素による還元速度を Table 2 に、溶鉄中炭素による還元速度を Table 3 に示す。還元反応では、ガス発生を伴う反応のため、反応界面積の評価が困難であり、誤差になつている。Table 2 において、少量の酸化鉄を黒鉛るつばに投入した実験で得られた高い還元速度を除くと、ほぼ同じ値が得られている。Table 3 において、少量の酸化鉄を溶鉄表面に添加した実験によつて高い還元速度が得られている。また、LLOYD ら¹⁶⁾ が報告しているように、溶鉄に溶融酸化鉄を添加した今回の還元速度は、固体酸化鉄を添加したときより低いことが確認できる。

溶融酸化鉄の CO, H₂ などの還元ガスによる還元速度は、固体酸化鉄のガス還元速度より高いが、1450°C において CO および H₂ ガスにより、0.61 および 1.11×10^{-4} mol-FeO/cm²·s·atm の値が得られており²⁰⁾²¹⁾、溶鉄中炭素による還元速度より低い。静止炭素棒の溶鉄中への溶解速度は、 $4 \sim 11 \times 10^{-4}$ mol-C/cm²·s²²⁾ と高いので、溶融還元法においては、溶鉄中炭素を利用して高い還元速度を得ることにより、高い生産性を達成することができる。現在までのところ、溶鉄中炭素による固体酸化鉄の還元速度が最大であり、この反応を最大に利用することが望まれる。

6. 結 言

鉄鉱石粉と石炭粉を溶鉄中へ吹き込む溶融還元法の基礎データを収集する目的で、溶融酸化鉄の固体炭素および溶鉄中炭素による還元速度を測定した。鋼およびアルミナるつば中の溶融酸化鉄に回転炭素棒を浸漬し、発生 CO ガス量から、固体炭素による還元速度を求めた。アルミナるつば中の溶鉄と鋼容器で融解した酸化鉄を反応させ、発生 CO ガス量から、溶鉄中炭素による還元速度を求めた。得られた結果は以下のようである。

(1) 溶融酸化鉄の固体炭素による還元速度は、1420～1620°C において、 $0.21 \sim 0.82 \times 10^{-4}$ mol-FeO/cm²·s であり、溶鉄中炭素による還元速度は $1.1 \sim 3.3 \times 10^{-4}$ mol-FeO/cm²·s であつた。

(2) 還元反応の活性化エネルギーは、鋼およびアルミナるつば中の溶融酸化鉄の固体炭素による還元で、75 および 31 kcal/mol、溶鉄中炭素による還元で 44 kcal/mol であつた。

(3) 固体炭素、溶鉄中炭素、CO または H₂ ガスによる溶融酸化鉄の還元のなかで、溶鉄中炭素による還元速度が最大であることがわかつた。しかし、溶鉄中炭素による固体酸化鉄の還元速度は、溶鉄中炭素による溶融酸化鉄の還元速度より高く、固体および液体の酸化鉄と固体炭素、溶鉄中炭素、CO および H₂ ガスなどの各種組合せのうち、現在までのところ最大であると結論される。

文 献

- 1) 相馬胤和: 日本金属学会会報, **21** (1982), p. 620
- 2) 中村正和, 徳光直樹: 鉄と鋼, **67** (1981), p. 480
- 3) 佐藤 彰, 中川龍一, 吉松史朗, 福沢 章, 尾崎 太: 鉄と鋼, **67** (1981), p. 303
- 4) 佐藤 彰, 荒金吾郎, 広瀬文雄, 中川龍一, 吉松史朗: 鉄と鋼, **69** (1983), p. 384
- 5) 佐藤 彰, 荒金吾郎, 笠原 章, 上平一茂, 吉松史朗: 鉄と鋼, **69** (1983), S24
- 6) 神谷昂司, 笠原和男, 松本文明, 吉松史朗: 鉄と鋼, **70** (1984), S834
- 7) 第3版鉄鋼便覧第I巻基礎 (日本鉄鋼協会編) (1981), p. 102 [丸善]
- 8) D. I. RUIDJONKOV, D. M. GOLENKO and L. M. CHELIADINOV: Izv. VUZ Chern. Metall. (1960) 4, p. 19
- 9) V. V. KONDAKOV, D. I. RUIDJONKOV and D. M. GOLENKO: Izv. VUZ Chern. Metall. (1960) 4, p. 23
- 10) 高橋謙治, 天辰正義, 相馬胤和: 鉄と鋼, **61** (1975), p. 2525
- 11) 佐々木康, 相馬胤和: 鉄と鋼, **64** (1978), p. 376
- 12) 月橋文孝, 天辰正義, 相馬胤和: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 1880
- 13) 須賀田正泰, 杉山 喬, 近藤真一: 鉄と鋼, **58** (1972), p. 1363
- 14) T. E. DANCY: JISI, **189** (1951) 9, p. 17
- 15) D. R. MAC RAE: J. Met., **17** (1965), p. 1391
- 16) G. W. LLOYD, D. R. YOUNG and L. A. BAKER: Ironmaking Steelmaking, **2** (1975), p. 49
- 17) 佐藤 彰, 笠原和男, 中川龍一, 吉松史朗, 福沢 章, 尾崎 太, 岩井良衛, 福沢安光, 三井達郎: 鉄と鋼, **65** (1979), p. 195
- 18) 文献7), p. 44
- 19) E. L. LEVIN and H. F. McMURDIE: Phase Diagrams for Ceramists, 1975 Supplement (1975) [The American Ceramics Society Inc.]
- 20) 長坂徹也, 井口泰孝, 萬谷志郎: 鉄と鋼, **71** (1985), p. 204
- 21) 萬谷志郎, 井口泰孝, 長坂徹也: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 1689
- 22) 小坂岑雄, 養輪 晋: 鉄と鋼, **53** (1967), p. 1467