

論 文

上底吹き転炉におけるクロム鉱石の溶融還元
速度に及ぼす諸要因の影響の定量化

北村 信也*・新井 貴士*²・松尾 充高*³
佐藤 宣雄*⁴・大河平和男*⁵・石川 英毅*³

Quantitative Estimation about the Influence of Various Factors on the
Smelting Reduction Rate of Cr-ore by Top-and-bottom Blowing Converter

Shin-ya KITAMURA, Takashi ARAI, Michitaka MATSUO,
Nobuo SATO, Kazuo OKOHIRA and Hidetake ISHIKAWA

Synopsis:

Smelting reduction rate of Cr-ore in top-and-bottom blowing converter was quantitatively estimated by 600 kg scale fundamental experiment and 100 t scale industrial furnace (LD-OB). The change of Cr oxide in slag with time showed zero-order reaction kinetics and the following points were clarified on the reduction rate.

- 1) The rate was in proportion to $\dot{\epsilon}^{0.5}$ and $L^{1.0}$, where $\dot{\epsilon}$ was stirring energy, L was diameter of furnace.
- 2) The activation energy was about 210 kJ/mol.
- 3) The rate were not clearly affected by the kind of Cr-sources, namely, pellets, briquettes of powder ore, carbon containing briquettes and lump ore.
- 4) The rate increased with the increase in amount of carbon for reduction and the decrease of [%Cr].

According to these results, it was postulated that the transfer of Cr oxide in molten slag phase to the carbon-slag and the metal-slag interfaces was the rate controlling step. The reduction rate was formulated as a function of $\dot{\epsilon}$, L , [%Cr], temperature and the containing ratio of carbon for reduction in slag. The results of calculation showed fairly good agreement with the observed values.

Key words: smelting reduction; Cr ore; stainless steel; top-and-bottom blowing converter.

1. 緒 言

近年、ステンレス鋼溶製コストの抜本的な改善を目的として、溶融還元によるクロム鉱石の直接利用技術が注目されている^{1)~3)}。これは、上底吹き転炉精錬においてクロム鉱石、フラックス及び炭材を連続的に供給しステンレス粗溶鋼を製造しようとするもので、片山、梶岡ら^{4)~7)}が開発した溶融還元によるフェロクロム製造法の応用技術と位置付けられるが、フェロクロムに比べ融点が低いため操業温度が低下しうる点や、溶銑中のクロム濃度が低いため溶銑による還元が期待できるといつた

有利性がある。片山らは一連の実験より、クロム鉱石の溶融還元を効率良く行うためには、次の点が重要であるとしている。

a) スラグ中に炭材を混合させることにより反応界面を増加し還元速度を上げる。

b) クロム酸化物スピネルの溶融スラグへの溶解を促進するため、スラグ中の Al_2O_3 と MgO の濃度を適正にする。

しかし、この技術を実用化する上で重要な、還元速度に及ぼす諸要因の影響度の定量化は充分になされていない。そこで、本研究においては中規模の実験装置による

昭和 62 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 62 年 3 月 19 日受付 (Received Mar. 19, 1987)

* 新日本製鉄(株)八幡技術研究部 (Yawata R & D Lab., Nippon Steel Corp., 1-1-1 Edamitsu Yahatahigashi-ku Kitakyushu 805)

*² 新日本製鉄(株)八幡製鉄所 (Yawata Works, Nippon Steel Corp.)

*³ 新日本製鉄(株)製鋼研究センター (Steelmaking Technology Lab., Nippon Steel Corp.)

*⁴ 新日本製鉄(株)新素材事業開発本部 (New Material Project Bureau, Nippon Steel Corp.)

*⁵ 新日本製鉄(株)八幡技術研究部 Dr. Ing. (Yawata R & D Lab., Nippon Steel Corp.)

基礎試験と 11%Cr ステンレス粗溶鋼の溶製試験を含む 100 t 規模の実炉試験をおこない、クロム鉱石の溶融還元速度に及ぼす各種要因の影響を定量的に表すことを目的とした。

2. 実験方法

2.1 基礎試験方法

基礎試験方法の略図を Fig. 1 に、実験条件を Table 1 に示す。実験はスラグ中の酸化クロム濃度の低下速度と諸要因との関係を明確にするため、次のような手順で行った。まず、所定の成分に他の高周波炉で溶解した約 600 kg の溶銑をマグドロレンがで内張りされた本試験炉に移湯した後、炭材を投入し上吹き酸素による燃焼法

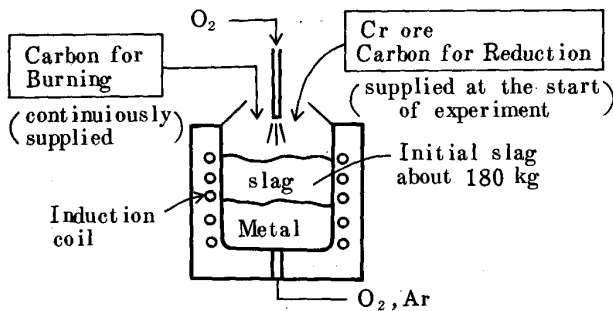


Fig. 1. Outline of the fundamental experiment.

Table 1. Experimental conditions.

Furnace		Laboratory seale	LD-OB
Weight of metal [%Cr]		600 kg	100 000 kg
Temperature		0~20%	0~11%
Stirring energy [%C]		1823±10 K	1673~1900 K
Slag composition	(Al ₂ O ₃)+(MgO) (CaO)/(SiO ₂)	870~3420 W/t	1390~3660 W/t
Weight of C*/Weight of slag		Saturation	Saturation
		25~40%	23~30%
		0.8~1.1	1.2~1.7
		0.07~0.37	0.1~0.2

* [(Total used C)-(Burnt C by O₂) calculation]

で所定の温度まで加熱した。この昇温中にクロム鉱石投入後のスラグ組成が Table 1 に示した範囲になるように造滓し、また、還元用の炭材を所定量一括して投入した。ここで、酸素バランス上、燃焼すると計算される分を燃焼用炭材、それ以上に使用した分を還元用炭材と定義した。次に、約 100 kg のクロム鉱石を一括して投入し、その後、約 2 min 間隔でスラグをサンプリングした。鉱石投入後の実験時間は約 40 min とし、この間、底吹き酸素により攪拌を付与するとともに、温度を保持するため炭材を連続的に供給し酸素により燃焼させた。なお、実験中のスラグには常に過剰の炭材が存在しているため、鋼浴の [%C] は飽和で推移した。スラグは炉内に挿入した鉄棒に付着させて採取し、磁選後、蛍光 X 線分析により全クロム濃度、(T·Cr) を分析した。また、硫酸水溶液により金属分を加熱抽出させた溶液を原子吸光度法により分析しスラグ中の金属クロム濃度、(M·Cr) をもとめ、(T·Cr) と (M·Cr) との差を酸化物として存在しているクロム濃度、(Oxide·Cr) とした。

還元速度に及ぼす温度の影響は、すでに片山ら⁷⁾により定量化されているため、本実験では、鉱石種類、炭材量、溶銑のクロム濃度及び攪拌力の影響を定量化することを目的とした。使用した鉱石を Table 2 に示すが、粒度(生鉱石は 50~100 mm の粒径で、他は 0.1~1.0 mm の粒鉱を成型したもの)、成型法、内装炭の有無を変化させた。また、炭材としては、主にコークスを用いたが、黒鉛ブリケットを用いた試験も行った (Table 3)。

2.2 実炉試験方法

実炉試験は、八幡製鉄所第一製鋼工場の 175 t 上吹き転炉 (LD-OB) を用いて行った。実験方法を Fig. 2 に、実験条件を Table 1 に示す。まず、約 90 t の脱りん溶銑を装入した後、基礎試験と同様に、上吹き酸素により炭材を燃焼させ昇温するとともに造滓を行った。その後、

Table 2. Compositions of various Cr-oxide sources.

	T·Cr	M·Cr	T·Fe	M·Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	P	S	T·C
Lump Ore	29.2	—	11.1	—	0.78	10.81	12.62	16.18	0.003	0.013	—
Partially-Reduced Pellet	29.9	15.7	15.3	13.8	0.55	10.46	11.91	12.21	0.015	0.217	8.9
Non-Reduced Pellet	23.2	1.5	11.8	1.9	0.45	7.50	7.29	9.52	0.011	0.236	15.1
Briquette	30.7	—	19.9	—	0.20	0.92	14.55	9.80	—	—	—
Carbon containing briquette	24.4	—	16.0	—	0.19	1.75	11.83	7.92	—	0.13	17.1

Table 3. Characteristics of cokes and amorphous graphite briquettes.

	Ash				F. C	T. S	Density (g/cm ³)		Diameter of Each particle (mm)
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	P			Real	Apparent	
Lump coke	6.23	0.38	3.47	0.036	87.5	0.67	1.95	0.96	10~25
Amorphous graphite briquette	9.06	0.53	5.45	0.038	78.5	0.04	2.28	1.97	1~5

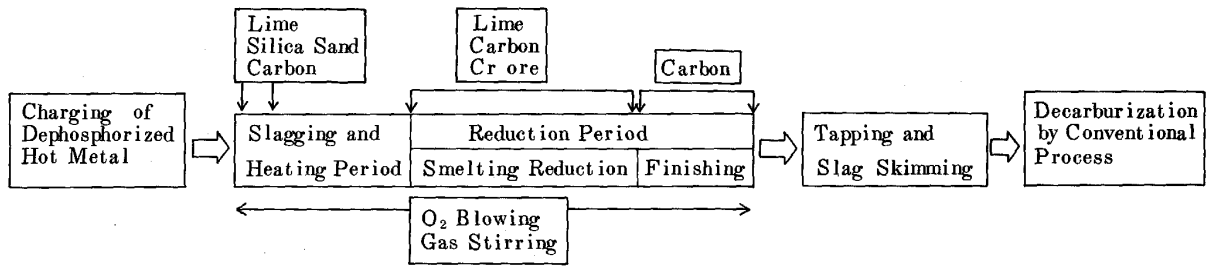


Fig. 2. Outline of the experiment by large scale furnace.

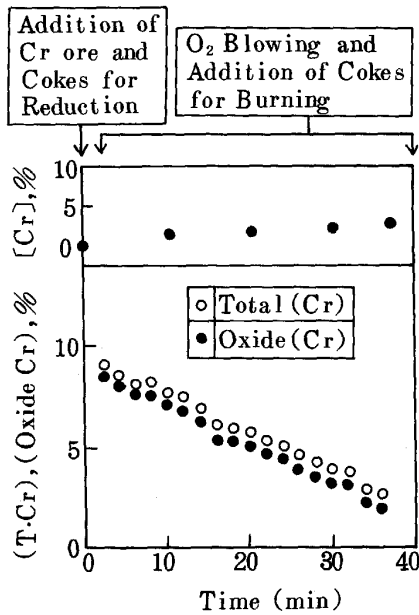


Fig. 3. Example of the result by the fundamental experiment.

一定の速度でクロム鉱石 (3~10 kg/min·t の投入速度), 炭材を半連続的に投入し (溶融還元期), さらに, 鉱石投入終了後もしばらくは炭材の供給と送酸とを続けた (仕上げ還元期).

実験は基礎試験結果との比較のため, 鉱石種類, 炭材量, 攪拌力及び温度を変化させて行つたが, 炭材としては, S濃度の高いコークスは生産に支障を与える恐れがあるため, 黒鉛ブリケットを用いた. また, 溶融還元後の鋼浴中クロム濃度は 2~11% に変化させた.

3. 実験結果

3.1 基礎実験結果

実験結果の一例を Fig. 3 に示すが, スラグ組成がスピネルの溶解を阻害しない条件⁶⁾を満足するように調節されているため, (Oxide·Cr) の低下は時間に対して直線的であり, 片山らがフェロクロムの溶融還元試験における同様な実験により得た結果⁷⁾と一致している. したがって, これ以降では, この直線の勾配である 0 次反応

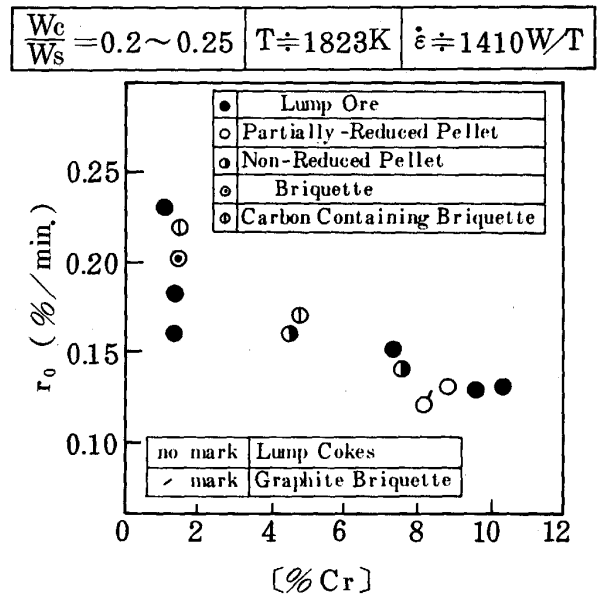


Fig. 4. Relation between r_0 and [%Cr] by various Cr-oxide sources and carbon sources is fundamental experiment.

速度 (r_0) により還元速度を表すことにする.

Fig. 4 は 鉱石及び炭材種類の影響を溶銑のクロム濃度と r_0 との関係で示したものである. ここで, クロム濃度は実験前後の平均値を用いた. r_0 は本実験範囲においては, 溶銑のクロム濃度の増加につれてほぼ直線的に低下しており, 片山らの結果⁴⁾⁷⁾と一致しているが, 鉱石の種類による差は認められない. また, 実験値は少ないものの, 炭材の種類の影響も顕著ではない. この結果は, 高岡ら⁸⁾が 鉱石粒度の影響を, 丸川ら²⁾が炭材密度の影響を報告しているのと相反している. 一方, Fig. 5 は r_0 に及ぼす還元用炭材重量とスラグ重量の比の影響を見たものであるが, 還元用炭材の割合が増すにつれて直線的に r_0 は増加し, また, その勾配は [%Cr] によらずほぼ同一であることがわかる. ここで, 還元用炭材重量は酸素バランスより, スラグ重量は CaO バランスより求め, 鉱石投入直後と実験終了時の値の平均をもって代表させた. Fig. 6 は攪拌エネルギー密度 ($\dot{\epsilon}$) と

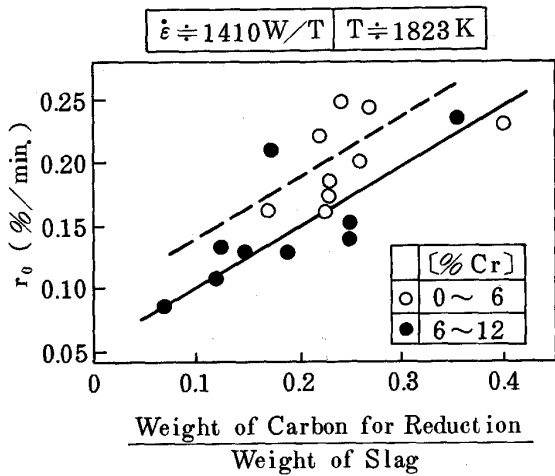


Fig. 5. Relation between r_0 and the ratio of carbon weight for reduction and slag weight in fundamental experiment.

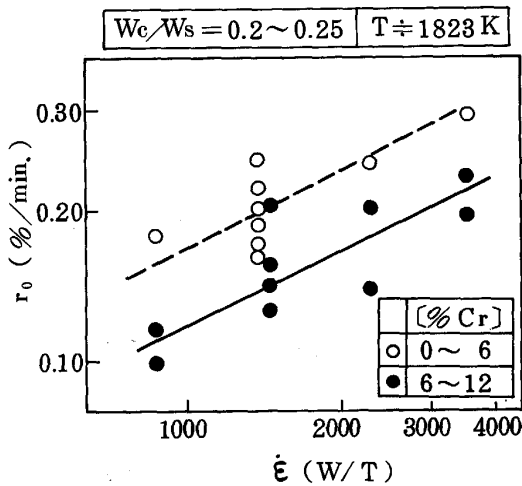


Fig. 6. Relation between r_0 and stirring energy in fundamental experiment.

r_0 との関係を示したものであるが、 $\dot{\epsilon}$ の約 0.5 乗に比例しているようである。ここで、 $\dot{\epsilon}$ としては、(1)式⁹⁾ にスラグ重量の寄与を加算して求めた。鋼浴とスラグの全体に対する攪拌エネルギー密度で表した。ここで、記号の説明は巻末に示した。

$$\dot{\epsilon} = \frac{371 \cdot F \cdot T}{(W_m/10^6)} \left\{ \ln \left(1 + \frac{9.8 \cdot \rho_m \cdot h}{P_2} \times 100 \right) + 0.06 \left(1 - \frac{T_n}{T} \right) \right\} \dots \dots \dots (1)$$

3.2 実炉試験結果

Fig. 7 に、溶融還元法により 11%Cr ステンレス鋼を製造した試験結果の一例を示すが、図中の曲線は後述のモデル式による計算値である。これからわかるように、スラグ中の (T·Cr) は溶融還元期終了時で 3%、仕上げ

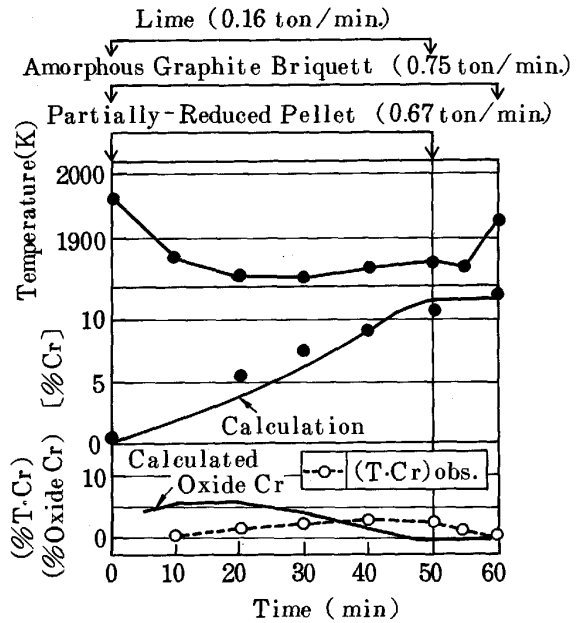


Fig. 7. Example of the result by large scale experiment.

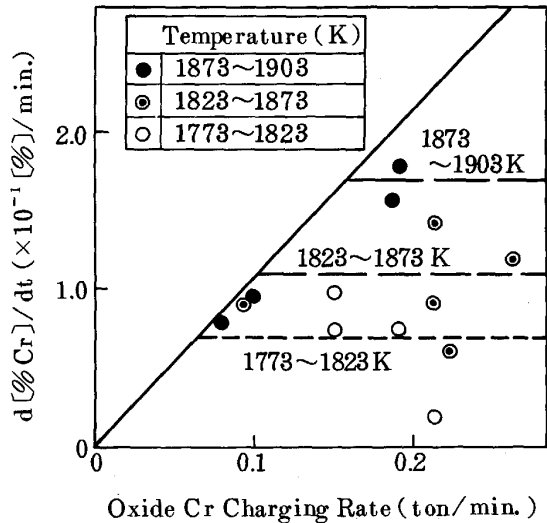


Fig. 8. Relation between the charging rate of Cr-oxide and the increasing rate of [%Cr] in large scale experiment.

還元終了時には 1% 以下に抑制されている。しかし、基礎試験と異なり鉱石は半連続的に添加されるためスラグ中のクロム濃度は複雑な変化を示し、直接 r_0 を求めることはできない。そこで、溶融還元速度を比較する場合は、鋼浴中のクロム濃度上昇速度を用いた。ここで、半還元ペレットを用いた実験では、すでに還元されているクロム分による [%Cr] の上昇分を差し引いて表示した。また、基礎試験結果との比較を行う場合には、試験中に投入されたすべての鉱石とフラックスが実験開始時

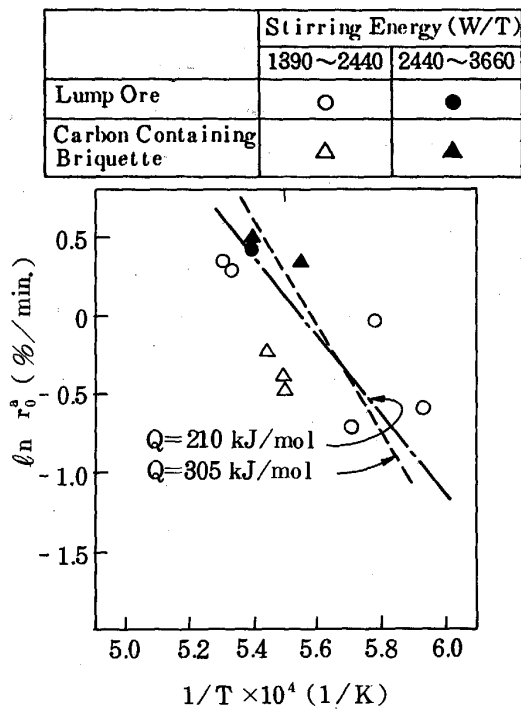


Fig. 9. Relation between r_0^a and temperature in large scale experiment.

に投入されたと想定して求めた (Oxide·Cr) と、実験終了時の (Oxide·Cr) とを用いて、見掛けの0次反応速度、 r_0^a を計算して用いた。

Fig. 8 は鉍石中に酸化物としてあるクロム分の投入速度と溶融還元期における鋼浴中のクロム濃度上昇速度の関係を示したものであり、図中の実線は完全に還元された場合の計算値である。これより、各温度範囲において、投入速度が遅い場合には、ほぼ完全に還元が進行するのに対し、投入速度を増して行くと、ある所から投入速度を大きくしても還元速度が上がらなくなり、その限界の投入速度は温度上昇につれて大きくなるのがわかる。Fig. 9 は、限界の投入速度以上の場合の結果を r_0^a と温度との関係として表したものであるが、基礎試験結果と同様、攪拌の効果は認められるものの鉍石種類の影響は認められない。また、図中には片山ら⁷⁾がフェロクロム溶融還元試験において得た見掛けの活性化エネルギーである 210~300 kJ/mol の直線を示してあるが、本実験結果もほぼ一致しているようである。

4. 考 察

4.1 溶融還元速度に及ぼす諸要因の定量評価

片山ら⁷⁾はクロム鉍石の溶融還元は、スピネル粒の溶融スラグ中への溶解過程と溶融スラグ中でのクロムの反応界面への移動過程の二つにより支配され、スピネル粒

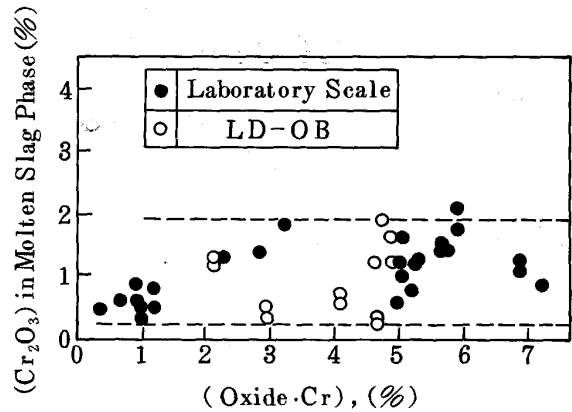


Fig. 10. Content of Cr-oxide in molten slag phase under various Oxide·Cr content of total slag phase.

の数が多く、溶解速度も速い場合には、溶融スラグ中のクロム濃度は (Oxide·Cr) によらずほぼ一定となり0次反応を示し、反対にスピネル粒の数が少ない場合や、溶解が阻害される場合には1次反応を示すとしている。そこで、本実験における溶融スラグ中のクロム濃度をEPMAにより測定したが、Fig. 10に示すように基礎試験及び実炉試験のいずれにおいても、(Oxide·Cr)によらず、ほぼ一定であることが確認された。このことと、反応が0次反応で進行することをあわせると、本実験条件においては溶融スラグ相は酸化クロムではほぼ飽和しているため、スピネル粒の溶融スラグ中への溶解速度は十分に速く、この過程は律速段階ではないと考えられる。そこで、溶融還元速度は溶融スラグ相中のクロムの移動律速であるとする、(Oxide·Cr)の減少速度は(2)式で表される。

$$-\frac{d(\text{Oxide}\cdot\text{Cr})}{dt} = \frac{k\cdot A}{V_s} |(\text{Oxide}\cdot\text{Cr})_{ms} - (\text{Oxide}\cdot\text{Cr})_{eq}| \equiv r_0 \dots\dots\dots (2)$$

なお、記号の説明は巻末に示した。

しかし、前記のように溶融スラグ中のクロム濃度はほぼ1%で一定なため、(2)式の右辺は定数となり0次反応を示すことになる。

以下で、(2)式に基づいて、還元速度に及ぼす諸要因の影響を定量化していく。

(1) 鉍石及び炭材種類の影響

本実験においては、鉍石種類の影響は認められなかった。鉍石粒度が影響を与える項は上記の還元機構の中にはなく、この結果は妥当なものと考えられる。また、内装炭は鉍石の直接還元を目的として配合されているが、Fig. 3のように(Oxide·Cr)は鉍石添加後ただちに低下し始めていることからわかるように、本実験では鉍石

がスピネル粒に分解する速度は速いと思われる。このため、成形体はその形状を維持する時間が短いため、固相還元への寄与が現れなかつたのであろう。また、これまで鉱石粒度の影響が現れたとする実験⁸⁾は、上吹き酸素によるスラグの加熱がない小型炉での結果であり、中型炉²⁾や大型炉¹⁾では認められていない。これは、小型炉の場合、スラグの熱容量が小さいうえにスラグの加熱が不十分なため、添加した鉱石がスピネル粒に分解する速度の差を検出したものではないかと考えられる。

一方、炭材種類に関しては、本来、熱源としては比重が小さくスラグ上部で酸素と反応しやすいものが、また、還元剤としては細粒で表面積の大きいものが有利となるはずである。しかし、本実験では比重が小さく粒径が比較的大きいコークスと、比重が大きく粒径が小さい黒鉛ブリケットとの差は明瞭には現れなかつた。これは、スラグ中の炭材が20~30%と多いうえに攪拌を受けているために、炭材同士が接触、合体する確率が高く細粒化の効果がでにくいことと、比較的重い炭材でも攪拌のためスラグ上部へ移動し燃焼反応に寄与したためと考えられる。

(2)炭材量及び鋼浴クロム濃度の影響

熔融還元反応の界面としては、鋼浴及び炭材と熔融スラグとの界面が考えられるため、(2)式は次のように二つに分けることができる。

i) 鋼浴における還元反応

$$r_{OHM} = (k / (W_s / \rho)) \cdot S \cdot \alpha \cdot (1 - (\text{Oxide} \cdot \text{Cr})_{eq}^{HM}) \dots \dots \dots (3)$$

ii) 炭材による還元反応

$$r_{OCK} = (k / (W_s / \rho)) \cdot (4\pi r_c^2 n) \cdot \beta \cdot (1 - (\text{Oxide} \cdot \text{Cr})_{eq}^{CK}) \dots \dots \dots (4)$$

$$= (k / (W_s / \rho)) \cdot (3W_c / (\rho_c r)) \cdot \beta \cdot (1 - (\text{Oxide} \cdot \text{Cr})_{eq}^{CK})$$

ここで、Fig. 10より(2)式中の(Oxide·Cr)_{MS}は1%とした。また、

$$r_x = k \cdot \rho \cdot \alpha \cdot (1 - (\text{Oxide} \cdot \text{Cr})_{eq}^{HM}) \dots \dots \dots (5)$$

$$r_y = k \cdot \rho \cdot \beta \cdot (3 / (\rho_c r)) \cdot (1 - (\text{Oxide} \cdot \text{Cr})_{eq}^{CK}) \dots \dots \dots (6)$$

とし、(3)、(4)式を加えると、r₀は(7)式のように表される。

$$r_0 = r_x \cdot (S / W_s) + r_y \cdot (W_c / W_s) \dots \dots \dots (7)$$

この、(5)、(6)式において、(Oxide·Cr)_{eq}^{CK}は定数であると考えられるため、Fig. 5における勾配がr_yであり、(W_c/W_s)=0での接点が(7)式における右辺第1項の値を表すことになる。(Oxide·Cr)_{eq}^{HM}は鋼浴のクロム濃度により変化するため、r_xを[%Cr]の関数として、r_yを定数としてもとめると、(8)式が得ら

れる。

$$r_0 = 4.78(1 - 0.0203[\%Cr]) \cdot S / W_s + 0.45 \cdot W_c / W_s \equiv r_0^A \dots \dots \dots (8)$$

(3)攪拌力依存性

Fig. 6からわかるように、r₀はε̇の約0.5乗に比例して、増加している。この攪拌力は、(3)、(4)式において、スラグ中の総括物質移動係数に直接影響を与える他、鋼浴界面攪乱係数や炭材表面利用率にも影響し、有効な反応界面積を増大させることが考えられる。しかし、本実験条件では、この項目に対する影響は分離しえないため、Fig. 6をもとに、(8)式全体に同一の攪拌力依存性を持たせ、(9)式のように整理することとした。

$$r_0 = r_0^A \cdot (\dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}^0)^{0.5} \equiv r_0^B \dots \dots \dots (9)$$

ここで、ε̇⁰は(8)式を求めた基礎試験時の攪拌エネルギー密度である(1410 W/t)。

(4)温度依存性

温度依存性についても、攪拌力依存性と同様に、(8)式全体に同一の温度依存性を持たせ、(10)式のように整理することにした。ここで、Qとしては210 kJ/molを用い、T₀は(8)式を求めた基礎試験時の温度(1823 K)である。

$$r_0 = r_0^B \frac{\exp(-Q/(RT))}{\exp(-Q/(RT_0))} \dots \dots \dots (10)$$

以上の結果より、(10)式を用いることでr₀に対する諸要因の影響が定量的に表されることになる。

Fig. 11に(10)式による計算値と基礎試験結果との対応を示すが、[%Cr]、炭材量、攪拌力を種々変化させたにもかかわらず両者は良く一致している。

4.2 基礎試験と実炉試験との対応

例えばFig. 9とFig. 6とを比較するとわかるように、同程度の条件でも、基礎試験でのr₀が0.2程度で

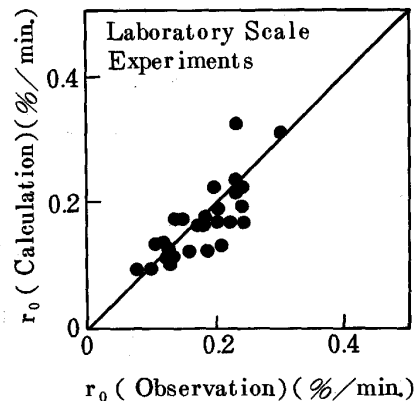


Fig. 11. Comparison between the results of calculation and the observed values in fundamental experiments.

あるのに対して、実炉試験での r_0^a は 1.0 大きく、スケールアップ効果があるようである。Fig. 12 は同一条件範囲のデータについて、精錬炉の直径、 L と r_0 もしくは r_0^a との相関を示したものであり、丸川ら¹⁰⁾ による、15 t 規模の実験結果も併せて記している。これより、還元速度は L の約 1 乗に比例していることがわかる。この結果と(10)式とを組み合わせることにより、最終的に(11)式が得られる。

$$r_0 = \{4.78 \cdot (1 - 0.0203[\%Cr]) \cdot S / W_s + 0.45 \cdot W_c / W_s \cdot \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0}\right)^{0.5} \cdot \frac{\exp(-Q/(RT))}{\exp(-Q/(RT_0))} \cdot \frac{L}{L_0}\} \dots \dots \dots (11)$$

ここで、 L_0 は基礎試験に用いた実験炉の内直径である。

この式を実炉試験時のように連続的に原料や炭材を供給する場合に適用するため、次のような計算方法を用いた。まず、クロム鉱石、フラックス及び炭材中の酸化物は装入後ただちにスラグを生成し、それらの合計で(11)式の中のスラグ重量を計算する一方、炭材中の炭素分は測

定された 2 次燃焼率に応じて酸素により燃焼されるとし、末燃焼分を還元用炭材重量とする。次に、実験条件として与えられた攪拌力、精錬炉の炉径と、実験中の測温結果より、(11)式を用いて r_0 を計算し、計算結果に応じてスラグ中のクロム濃度を低下させる。最後に、物質収支をとり鋼浴中のクロム濃度を増加させ、このような手順を 5 s ごとに繰り返して行うことで精錬中の濃度推移をシミュレートした。ここで、基礎実験結果より、(Oxide·Cr) が約 1% 以下になると反応は 1 次反応を示したため、その場合には(12)式を用いることとした。

$$r_1 = r_0 \cdot (\text{Oxide} \cdot \text{Cr}) \dots \dots \dots (12)$$

計算により得られた、実炉試験における溶融還元期終了時のスラグ中及びメタル中のクロム濃度と実験値との対応を Fig. 13 に、また、11%Cr ステンレス鋼製造試験における実験中の成分推移の計算例を Fig. 7 に示すが、比較的良い一致が見られ、本方法によりクロム鉱石の溶融還元速度は定量的に評価できると考えられる。ここで、実炉試験においては、一部のスラグ試料以外は (M·Cr) 分の分離を行わなかったため、(T·Cr) で表示したが、(M·Cr) は 0.5% 程度であるため、このことによる誤差は小さいと思われる。

5. 結 言

中規模実験装置による基礎試験と 100 t 規模の実炉試験によりクロム鉱石の溶融還元速度に及ぼす諸要因の影響の定量化をおこなった結果、本実験条件下における溶融還元速度に対して次の点が明らかとなった。

- 攪拌エネルギーの約 0.5 乗に、精錬炉直径の約 1 乗に比例して増大した。
- 活性化エネルギーは実炉試験においても約 210 kJ/mol であり、片山ら⁷⁾ の結果と対応した。
- 鉱石の細粒化や内装炭の配合の効果が認められず、また、炭材種類の影響も明確には現れなかった。
- 還元用炭材量とスラグ量との比の増加、及び、鋼浴中のクロム濃度の低下に伴い、直線的に増加した。

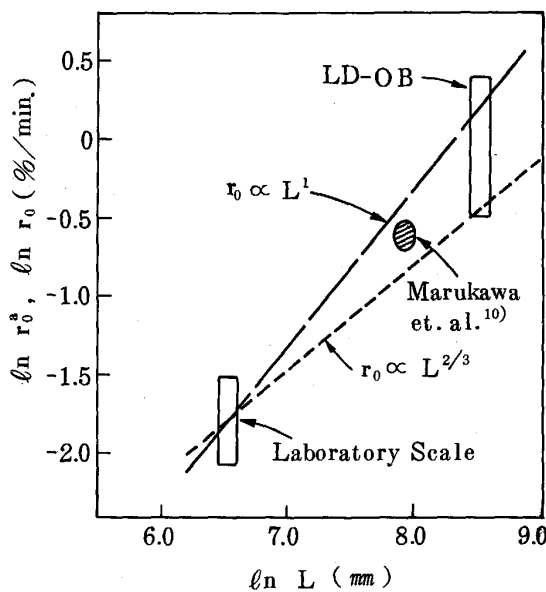


Fig. 12. The influence of furnace scale on r_0 , r_0^a .

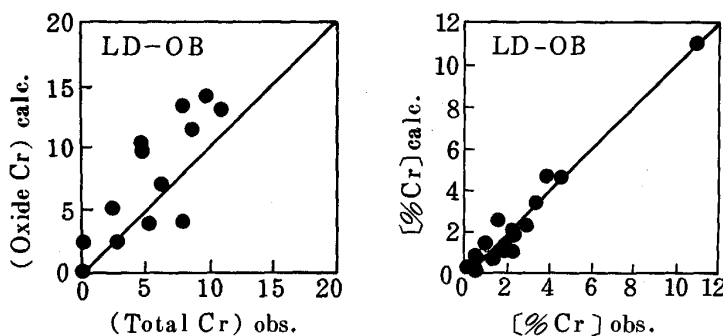


Fig. 13. Comparison between the results of calculation and the observed values in large scale experiments.

これをもとにクロム鉱石の溶融還元速度を表す一般式を求めた結果、基礎試験や実炉試験結果との良い対応が得られ、本方法を用いることにより定量的評価が可能であることが明らかとなった。また、実炉による 11%Cr ステンレス鋼の溶製時においても、溶融還元期におけるスラグ中のクロム濃度を 3% 以下に抑制することができた。

記 号

A : 反応界面積 (cm^2)
 F : 吹込みガス流量 (Nm^3/s) (O_2 の場合は 2 倍の値を用いた).
 h : 浴深: (cm)
 k : スラグ中の総括的物質移動係数 (cm/min)
 L : 精錬炉の直径 (cm)
 n : 炭材個数
 $(\text{Oxide}\cdot\text{Cr})_{eq}$: 反応界面での平衡濃度 (%)
 $(\text{Oxide}\cdot\text{Cr})_{eq}^{CK}$: 炭材界面での溶融スラグ相との平衡濃度 (%)
 $(\text{Oxide}\cdot\text{Cr})_{eq}^{HM}$: 鋼浴界面での溶融スラグ相との平衡濃度 (%)
 $(\text{Oxide}\cdot\text{Cr})_{MS}$: 溶融スラグ相中のクロム濃度 (%)
 P_2 : 雰囲気圧力 (Pa)
 Q : 活性化エネルギー (kJ/mol)
 r_C : 炭材半径 (cm)
 S : 鋼浴表面積 (cm^2)
 t : 時間 (min)
 T : 温度 (K)
 T_m : ガス温度 (K)

V_S : スラグ体積 (cm^3)
 W_C : 還元用炭材重量 (g)
 W_m : メタル重量 (g)
 W_S : スラグ重量 (g)
 α : 鋼浴界面攪乱係数
 β : 炭材表面利用効率
 $\dot{\varepsilon}$: 攪拌エネルギー密度 (W/t)
 ρ : スラグ密度 (g/cm^3)
 ρ_C : 炭材密度 (g/cm^3)
 ρ_m : メタル密度 (g/cm^3)

文 献

- 1) 佐藤宣雄, 新井貴士, 武田欣明, 青木裕幸, 平林史光: 鉄と鋼, **71** (1985), S927
- 2) 丸川雄浄, 姉崎正治, 平田武行, 石川 稔: 鉄と鋼, **71** (1985), S928
- 3) 岸本康夫, 高橋幸雄, 竹内秀次, 藤井徹也, 野崎 努: 鉄と鋼, **73** (1987), A35
- 4) 梶岡博幸, 石川英毅, 片山裕之, 桑原正年, 藤田正樹: 鉄と鋼, **71** (1985), S922
- 5) 桑原正年, 片山裕之, 石川英毅, 藤田正樹, 佐々木俊明: 鉄と鋼, **70** (1984), S116
- 6) 梶岡博幸, 片山裕之, 平田 浩, 藤田正樹: 学振 19 委-No. 10688 (昭和 60 年 10 月)
- 7) 梶岡博幸, 片山裕之, 石川英毅, 藤田正樹: 学振 19 委-No. 10703 (昭和 61 年 2 月)
- 8) 高岡利夫, 菊池良輝, 河井良彦: 鉄と鋼, **72** (1986), S111
- 9) 森 一美, 佐野正道: 鉄と鋼, **67** (1981), p. 672
- 10) 丸川雄浄, 姉崎正治, 平田武行, 石川 稔: 学振 19 委-No. 10706 (昭和 61 年 2 月)