

討10 5トン転炉での微粉炭燃焼ランスを用いるスクラップ溶解とクロム鉱石の溶融還元

川崎製鉄 鉄鋼研究所 ○岸本康夫 高橋幸雄 竹内秀次

藤井徹也 野崎 努

1. 緒言：近年，原料およびエネルギー事情の変化と転炉の攪拌機能の強化に伴い，転炉における各種鉱石の溶融還元やスクラップの大量溶解の研究が活発である．溶融還元やスクラップ溶解を行う場合には，熱補償と還元用に，多量の炭材（石炭，コークス）を炉内へ添加する必要がある．そこで本報告では，安価な石炭（特に微粉炭）を上吹きランスから酸素と共に吹き付ける方法により，5トン試験転炉で行った全量スクラップ溶解およびクロム鉱石の溶融還元実験について述べる．

2. 5トン試験転炉における全量スクラップ溶解実験

2. 1 目的：将来増加することが予測されるスクラップを，転炉で大量に溶解する研究が注目されている．そこで，今回5トン試験転炉で，熱源として微粉炭を用いて全量スクラップを溶解する実験を行った．併せて上吹きランスの開発も行った．

2. 2 実験方法：特殊なノズル形状の上吹きランスを用いて純酸素ガスと微粉炭を上吹きし，炉内のスクラップ上に火炎を吹き付けた（以下では微粉炭燃焼ランスと称する）．炉底耐火物の保護を目的に，スクラップ装入前にCaOを装入した．原料とするスクラップには，熱延板のトリミング屑を用い，一部の試験では重量屑も用いた．

用いた転炉は，炉底を変更して，不活性ガスを底吹きする弱攪拌型転炉（LD-KGC）または，酸素ガスを全量の30%底吹きする強攪拌転炉（K-BOP）として操業した．実験方法の概略をFig.1に示す．

2. 3 実験結果：K-BOPでの溶解初期のスπιittingを除けば，LD-KGC法とK-BOP法では基本的に差は認められなかった．実験開始から35～45分で約5トンのスクラップ溶解が完了し， $[\%C] = 3 \sim 4$ ，1500℃の溶銑，あるいは $[\%C] < 0.1$ で1600℃の溶鋼が得られた．

炉内に供給した熱源の原単位をエネルギーに換算して求めたスクラップ溶解時の溶解エネルギーを，他のスクラップ溶解プロセスにおける公表値や電気炉法と比較してTable1に示す．スクラップ全量溶解実験における溶解エネルギーは，溶銑と溶鋼を溶製する場合で大きく異なる．K-BOP法，LD-KGC法いずれでも溶鋼を溶製する場合の溶解エネルギーは，溶銑を溶製するのに比べて1/2～1/3で済む．

溶銑を溶製する場合に比べて溶鋼の溶製に要するエネルギー原単位が大巾に減少するのは，単に消費炭素量が異なるためだ

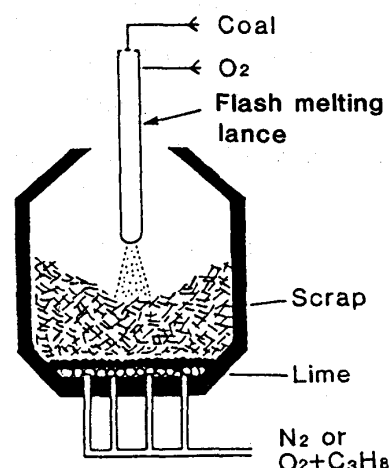


Fig.1 Schematic representation of all scrap melting process

Table.1 Energy Consumption in various scrap melting methods

Coal = 7 500 kcal/kg

Coke = 7 500 kcal/kg

Propane = 23 000 kcal/Nm³

Natural gas = 9 000 kcal/Nm³

Steel

Hot metal

Energy (kcal/t) Consumption		1	2	3	4
		x 10 ⁶			
Present work	K-BOP	3.36			
		1.58			
	LD-KGC	2.26			
		0.77			
KS process		2.32			
USSR (Tula)		0.74			
EAF(400kW/t)		0.34			
		0.98			

1 kWh = 860 kcal

1 kWh = 2450 kcal

Coal = 7500 kcal/kg
Coke = 7500 kcal/kg
Propane = 23000 kcal/Nm³
Natural gas = 9000 kcal/Nm³

Steel
Hot metal

1 kWh = 860 kcal
1 kWh = 2450 kcal

けではなく、鉄の酸化熱を利用しているためと推察される。すなわち同一の溶銑を溶製する場合でも、鉄を酸化しながら溶解する方法 (Fig. 2 (A)) では、鉄の大きな酸化熱を効率良く利用するために、鉄を酸化せずに溶解を行う場合 (Fig. 2 (B)) よりも少ないエネルギー原単位で溶解ができる。生成した酸化鉄は、その後炭素によって還元することが可能であり、結果的には歩留りを低下させることなく少ないエネルギー原単位で溶解できる。

本実験で使用した微粉炭燃焼ランスは、微粉炭と酸素ガスにより、ランス先端から火炎を噴射できる構造となっており、この微粉炭燃焼ランスを用いれば、スクラップ溶解が容易に行なえることが確認できた。微粉炭燃焼ランスによる火炎中心部の温度は1600~2000℃と測定された。

全量スクラップ溶解時の歩留りは、80~90% と通常の実炉における製出鋼歩留りと比較して低いが、5トン試験転炉における通常脱炭吹錬の歩留りと差は少なく、小型転炉における実験の影響と思われる。

スクラップ溶解時のSバランスを求めると、溶銑、溶鋼いずれの場合にも、不明Sが多く、気相への逸散が生じていると思われる。この不明Sは、Fig. 3 に示されるように塩基度と正相関にあり、スクラップ溶解後の溶銑および溶鋼の〔%S〕は塩基度を調整することにより0.030%以下に抑えることができた。

3. クロム鉱石の転炉内熔融還元

3. 1 目的：転炉内にクロム鉱石を添加してクロムの還元回収を行い、フェロクロム合金を用いないでステンレス鋼用の母溶湯を製造するプロセスの研究が活発に行なわれている。クロム^{4)~7)}鉱石の大部分は粉状で採掘されるので、粉状のままで転炉内に添加できるプロセスが理想と考えられる。本研究では、粉状のクロム鉱石の転炉内での熔融還元挙動について、各種の添加方法とクロムの還元回収の関係について研究する。⁸⁾

3. 2 実験方法：実験設備と方法の概略をFig. 4 に示す。5トン試験転炉と粉体原料の供給装置からなる。鉱石吹込実験前に4.5~5トンの溶銑を装入後、高炭素フェロクロム合金と塊状コークスや微粉炭を添加しつつ酸素を上底吹きし、熔融還元開始時の溶湯の温度と炭素濃度、〔%C〕₀、および、クロム濃度、〔%Cr〕₀を調整した。

実験に用いた原料の組成をTable 2に示す。コークスは通常の高炉用コークスを、微粉炭は揮発分の少ない(8.4%)無煙炭を用いた。また、クロム鉱石は、フィリピン産の粉状鉱石(クロムサンド、平均

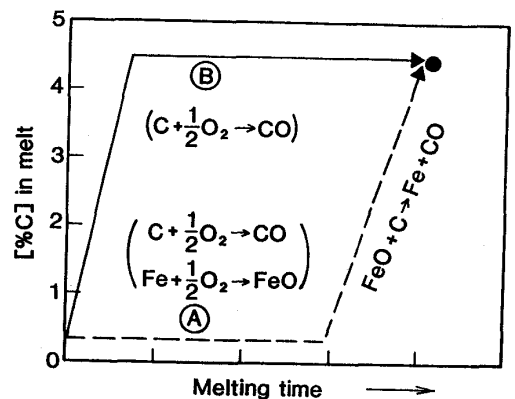


Fig. 2 Schematic diagram of melting paths in scrap melting

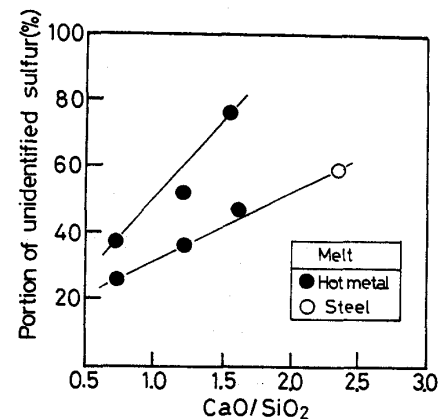


Fig. 3 Effect of basicity on portion of unidentified sulfur

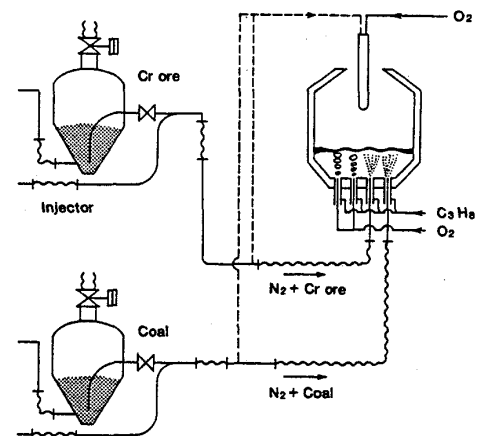


Fig. 4 Schematic representation of 5ton scale test converter and injection system

粒径200 μm), および, これを平均粒径14 μm まで粉碎したものをを用いた. 溶融還元の好適条件を得るため南アフリカ産鉬石を予備還元したペレットも実験に用いた.

粉状のクロム鉬石の添加は, 底吹き羽口からのインジェクション法と, 微粉炭燃焼ランスからの吹き付け法で行い, 予備還元したクロム鉬石ペレットは, 上投入法で行った. 底吹きインジェクションは, Fig. 5 に示す二方法で行い, Fig. 5 (a) は通常の二重管羽口の内管から N_2 でクロム鉬石を吹き込み, 外管とのアニュラス部から羽口冷却用のプロパンガスを供給する. 一方, Fig. 5 (b) では羽口を三重管構造とし, 内側から, 順にクロム鉬石, 酸素, プロパンガスを供給し, N_2 で吹き込んだクロム鉬石を高温火点部へ添加するよう考慮した.

鉬石の上からの吹き付けは, Fig. 5 (c) に示す構造の微粉炭燃焼ランスを用い, 内管を鉬石と微粉炭の混合粉の流路とし外管とのアニュラス部を酸素ガス流路とした. クロム鉬石は微粉炭と酸素ガスの高温、燃焼火炎中を通過して溶湯の火点部に供給される. 実験条件の概略をTable 3 に示す.

3. 3 実験結果と考察

3. 3. 1 還元条件: クロム鉬石の転炉内容融還元の好適条件を求めるために, まず, 最も還元性が良いと考えられる予備還元ペレットを粉碎してFig. 5 (a) の方法でインジェクションした. 溶湯の温度と $[\%C]$ がスラグ中のクロム酸化物濃度, $(\%Cr_2O_3)$ に及ぼす影響をFig. 6 に示す. スラグと溶湯間のクロムの物質収支から, 96% 以上の還元回収率を得るには (Cr_2O_3) を3%以下とする必要があり, 図中の斜線領域が還元好適条件である. 図にはHealy の式(eq. (1)), 学振推奨値 ($[\%Cr]=16$, eq. (2)) による計算値を併記したが $(Cr_2O_3)=3\%$ の実験曲線との差は大きく, 転炉内のクロム鉬石の還元は鉬石の溶解や還元反応の速度の重要なことが明らかである.

3. 3. 2 鉬石添加方法と還元回収率: クロム鉬石の底吹

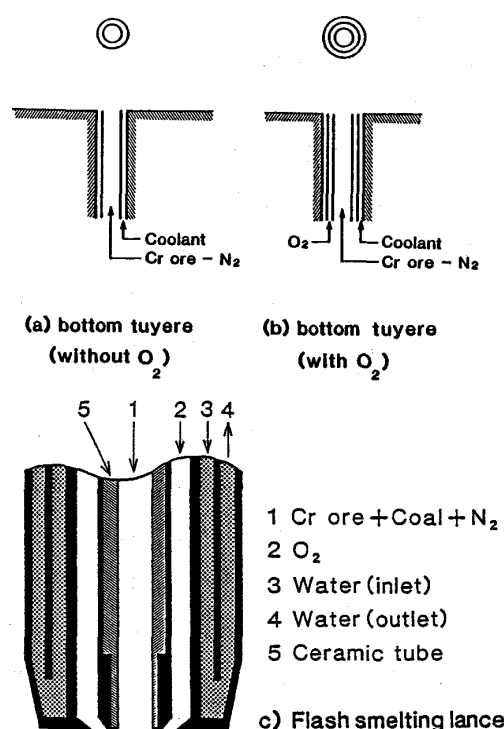


Fig. 5 Methods of chromium ore addition examined

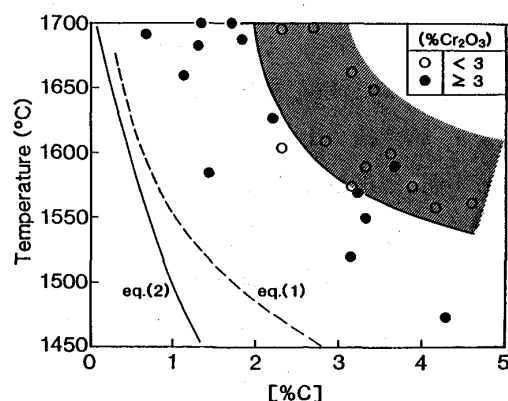


Fig. 6 Effects of $[\%C]$ and temperature on reduction of (Cr_2O_3)

eq.(1) : Healy's equation
eq.(2) : Recommended equilibrium value by the Japan Society for the Promotion of Science

Table 2 Composition of materials used in experiment

	T.C	Ash	P	S	H ₂ O	N	Remark
Coke	82.9	17.1	0.16	0.47	0.27	-	10~30mm
Coal	83.9	15.9	0.01	0.24	0.9	0.66	<70 μm
	T.Cr	T.Fe	T.O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	
Cr ore	26.8	20.1	18.0	12.1	17.1	3.1	Philippine
Cr pellet	29.9	19.7	7.3	11.0	15.0	10.5	South Africa

Table 3 Experimental conditions

Metal temperature		1500-1730(°C)
[ZC] in metal		3.0 - 5.5
Feeding rate	Cr ore	8 - 25 (kg/min)
	Carbon	15 - 30 (kg/min)
	O ₂	20 - 25 (kg/min)
Feeding method of Cr ore		(a), (b), (c) in Fig. 5

きインジェクション法(Fig. 5(a), (b))について, $[\%Cr]_0$ と還元回収率, η , の関係をFig. 7に示す. (a)法で鉬石の原鉬を用いた場合には $[\%Cr]_0=0$ においても $\eta=30\sim50\%$ と低い. $14\mu m$ まで粉碎した鉬石を用いると $80\sim90\%$ まで向上するが, $[\%Cr]_0$ の増大と共に η は低下する. 一方, (b)法では, 鉬石の粒径に関係なく, $[\%Cr]_0=15$ においても $70\sim93\%$ の還元回収率が得られる. 鉬石が火点に吹き込まれるので, その溶解が促進するためと推察される. この現象は別途シミュレーション実験によって確認した.

以上のように(b)法はクロムの還元回収率の点で優れた方法と判断されるが, 底吹きのための鉬石搬送系配管の摩耗が問題である. そこで(b)法と同じ原理であるが摩耗の問題に対処の容易な吹き付け法についてFig. 5(c)の方法を採用した. 結果をFig. 8に示す. 図より(c)法は(b)法と比べて同等以上の効果と判断される. (c)法においても, 微粉炭を用いないで塊状コークスを用いる条件, あるいは, 底吹き酸素流量を増大して上吹き酸素流量を減少する条件では, η が低下する. この事から(c)法の優れる理由は, (1) 鉬石が微粉炭燃焼炎中を通過する間に充分に加熱(一部は熔融)されること, (2) このため, 鉬石が熱衝撃によって微細化されること, (3) 溶湯浴面上の火点に鉬石が供給されること, の三つの効果によるものと考えられる. (1)は伝熱計算から, (2)は吹き付けられたクロム鉬石の顕微鏡観察から, また, (3)は前述のシミュレーション実験からそれぞれの効果を確認した.

以上のように, 高温の火炎を通じてクロム鉬石を吹き付けることにより粉状の原鉬石を粉碎することなく使用しても還元回収率に優れたプロセスを確立した.

4. 結言: 転炉における精錬機能の拡大の例として, 全量スクラップ溶解法とクロム鉬石の熔融還元についての5トン試験転炉による実験結果を述べた. 微粉炭燃焼ランスを用いることにより電気炉法と同等の使用エネルギーで全量スクラップ溶解の可能なことを確認した. また, クロム鉬石の熔融還元については, 粉状鉬石の転炉への供給方法について検討し, 酸素ジェットが形成する火点に供給するとクロムの還元回収率が向上することを見出し, 微粉炭燃焼ランスを用いるクロム鉬石の還元回収率に優れたプロセスを開発した.

参考文献

- 1) Klöckner-Werke AG: Stahl u. Eisen, 101(1981), P639
- 2) 丸川ら: 鉄と鋼, 71(1985), S930
- 3) 竹内ら: 鉄と鋼, 72(1986), S185
- 4) 岡村ら: 鉄と鋼, 68(1982), S843
- 5) 河上ら: 鉄と鋼, 69(1983), S15
- 6) 仲村ら: 鉄と鋼, 71(1985), S142
- 7) 山名ら: 鉄と鋼, 70(1984), S961
- 8) 竹内ら: 鉄と鋼, 72(1986), S968

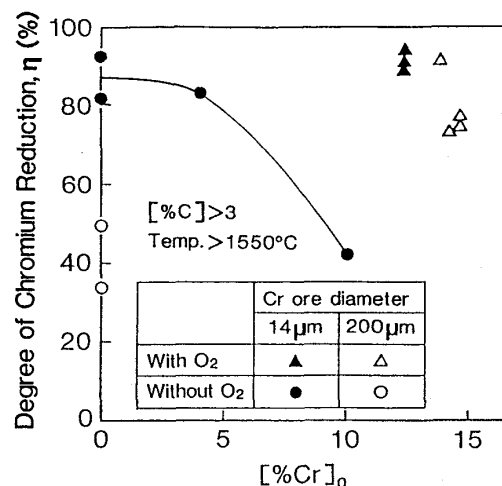


Fig. 7 Effects of Cr ore size and injection condition on η

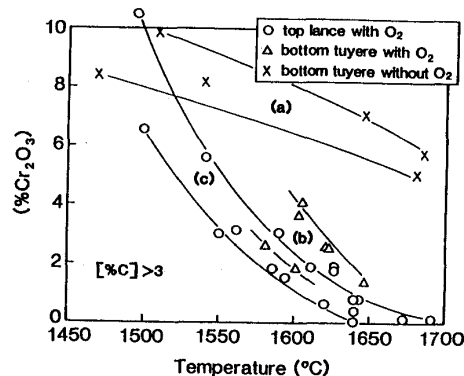


Fig. 8 Comparison between bottom injection (b) and top feeding (c)