

1 屯試験高炉の鉄鉱石の還元について

金森研究室

高炉内部における鉄鉱石の還元は、種々の要因に支配される複雑な過程であるが、基本的には、炉内を上昇するCO₂ガスの熱的、化学的エネルギーをできるだけ十分に利用して、降下する鉄鉱石のガス還元を有効に行わせることである。このため、鉄鉱石の還元には炉内のガス・温度分布が重要である。一般に還元試験では、他の諸条件が一定ならば、鉄鉱石の粒度が細かい程、還元率が高くなるが、高炉の内部では粒度の変化はガス分布および炉況に影響する。他方、原料処理行程で、本試験高炉ではこれまで捨てられていた5mm以下の粉鉱の中に3~5mmの粉が相当含まれ、これを操業上利用できれば、還元性に有利であり、かつ粉砕の歩溜りの向上に資するところが大きい。そこで1957年8月1日から31日まで行った第5次試験の終りに、鉱石粒度を5~10mmから3~5mmとした時の炉内のガス・温度分布および鉱石の還元状態を調べ将来3~10mmの粒度とした時に推定する資料としようとした。このため、8月29日から30日にかけて、鉄鉱石および焼結鉄を6段階で3~5mmに切替え、炉内がこの粒度になったとみられる30日午前、午後には炉胸のガス・温度分布を調べた。31日吹卸しのさい、炉内ガスを不活性ガスでおきかえ、後に、炉内から固体試料をとって還元状態を調べることにした。

実験方法

実験当日の操業条件およびその成績は第1表の通りである。鉱石粒度は前述のように3~5mm、石灰石5~

第1表 操業条件および成績 (8月30日)

装入物, 1回配合量 kg					
コークス	印度鉄	焼結鉄	マンガ鉄	石灰石	珪煉瓦
20	10.5	6.0	0.6	4.8	0.6

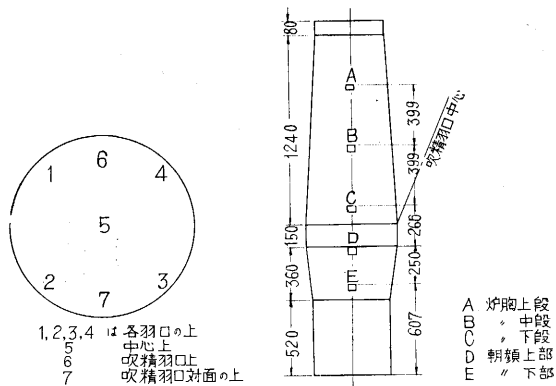
送風				出銑量	出滓量	コークス比	滓/銑
量 m ³ /min	圧力 mmAq	温度 °C	流量/圧力 × 100	kg	kg		
4.0	761	618	0.525	950	688	1.85	0.72

銑鉄成分				出銑温度 °C	出滓温度 °C
C	Si	Mn	S		
4.19	1.21	1.18	0.034	1360	1460

鉄 滓 成 分 (%)					炉 頂 ガ ス (%)			
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	塩基度	CO	CO ₂	O ₂	温度 °C
42.6	34.0	16.0	0.97	1.25	30.6	5.3	0.1	291

10mm, コークスは10~20mmである。

1) ガス・温度分布: 30日午前10時4~12分に、炉胸の中段で、各羽口の上方の炉壁と炉の中心、および両者の中間の温度を測定し、同時にガス試料を採取し、さらに午後2時15~20分に、(2), (4)番羽口の上方について行った。この位置は第1図に示す。実験は予め炉積



第1図 試料採取位置 (ガスおよび固体試料)

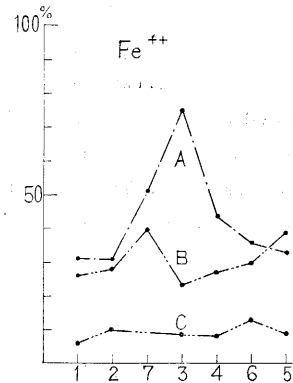
のさい set しておいた guide を通して、溶封した先端より100mmの位置に採取口のある 3/4" の鉄製のパイプを炉内に挿入し、採取口を炉底側にして行った。ガス試料はCO・CO₂を分析し、温度測定はPt-Pt Rh 熱電対で行った。

2) 炉内の鉄鉱石の還元状態: 31日、ほぼ同じ操業状態で吹卸しのさい、送風を停止し、出滓口より窒素ガス(市販)を送り、炉内を不活性ガスで満たし、炉内ガスと置換した後(炉頂ガスの分析により確めた)炉頂から珪煉瓦屑を装入して炉を密閉した。9月10日の炉体解体のさい、第1図に示すように5段階・7方向の鉄鉱石の固体試料を採取した。この位置は第1図に示す。吹精羽口の上方とその反対側を特に選んだのは、吹精羽口のジャケットが炉の内壁近くまできているため、この冷却効果をみるためと、その影響の少ないとみられる反対側を調べようとしたものである。なお、試料採取は大体、炉壁炉心の中間部、および炉心である。なお、A、Bはガス試料採取位置と同じである。試料はすべて磁選

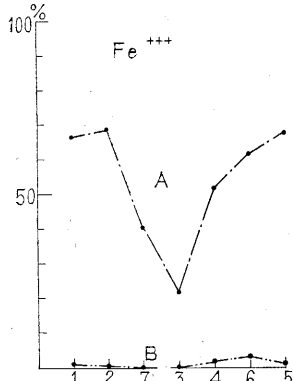
し 130 mesh で篩い分けた。このうち第 1 図 A, B の炉胸上, 中段ではほぼ一様に粉碎できたが, C, D, E ではスラッグが分離し, 海綿鉄状となり, 完全な鉱石の代表試料となっていないおそれがある。これらの試料は JIS に従い, Fe⁺⁺⁺, Fe⁺⁺, 金属鉄について分析し, さらに D, E については, 海綿鉄中の 硫黄, 炭素の含量を調べた。

実験結果および考察

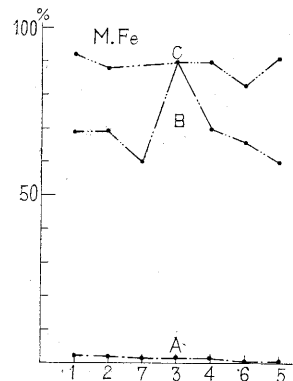
1) 鉄鉱石の還元状態: 第 2 図 (a), (b), (c), (d) に各断面における Fe⁺⁺, Fe⁺⁺⁺, Metallic Fe, 還元率を示した。



(a)



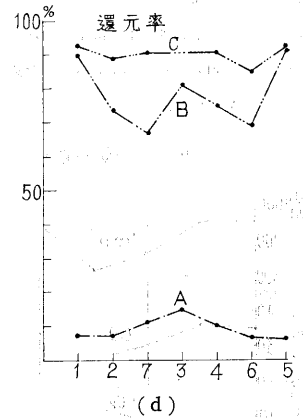
(b)



(c)

示した。570°C 以上の温度では, Fe₂O₃→Fe₃O₄→FeO→Fe の順に還元が進行するが還元率の傾向をみる上から, 分析で得られるデータをそのまま用いた。図から A, B, C の順に還元が進行し, C では鉄分のうち金属鉄が約 90% に達し, 各方向の差はわずかで, D, E では海綿鉄状となり, 90% 以上の還元率を示した。第 2 図(a), (b) より炉胸上部の A では主として, Fe⁺⁺⁺→Fe⁺⁺ への還元が進行し, M. Fe は 2% 以下である。特に (3) では, Fe⁺⁺ が 74% に達し還元率は 15% で最も進行している。この(3)を頂点として(7)―(3)―(4)の側が還元率が高く, これと反対に, 中心(5)を含む(6)―(1)―(2)の側が低く Fe⁺⁺⁺ がなお, 60% 以上を示している。炉胸上部より中部の B の段階への還元は非常に急速で, M. Fe が急激に上昇し, 還元率も約 80% になっている。B では, Fe⁺⁺⁺ がほとんどなくなり, 主反応は Fe⁺⁺→Fe とみられる。ここでは,

上部で還元率の進行が遅れていた側の還元が急速に進み, 特に(1)および中心(5)では B 段階での最高還元率となっている。このためはほぼ平均化された還元率に近づいているが, 吹精羽口の上(6)とその対面(7)が特におくれている。平均化の傾向は装入物の降下速度の差による混合を示すもので



(d) 第 2 図 横方向における鉄鉱石の還元状態 (横軸は採取位置)

はなからうか, 炉胸下部の C では, はほぼ一様に M. Fe が 90% を示し, Fe⁺⁺ が約 10% である。しかし吹精羽口の上(6)だけは Fe⁺⁺ がなお約 14% あり, 他よりややおくれている。この原因はガス分布, その他の影響も併せ考えねばならないが, 吹精羽口 (非常に接近しているこの位置) の冷却効果もまた無視できないであろう。以上の結果をまとめると, 炉胸上部では(7)―(3)―(4)側の還元が進行し, 中心を含むその反対側が遅れていることが顕著である, 中部では, (1)および中心の還元が急速に進行し, はほぼ平均化された還元率に近づく傾向を示し, 下部ではほとんど一様に M. Fe に還元される。ただ吹精羽口の上(6)でややおくれている。以上の諸結果は後述のガス温度分布を考慮に入れてさらに考察する。なお大型炉の場合の実験例(1)の還元率と比較するとほぼ同じである。さらに朝顔の上部と下部の金属鉄の炭素, 硫黄の含量を調べた結果を第 2 表に示す。上部の炭素は約 1%, 下部で約 1.5%,

第 2 表 海綿鉄の炭素, 硫黄含量 (%)

		1	2	3	4	5	6	7
朝顔上部	C	1.03	1.05	1.00	1.08	0.98	0.97	1.10
	S	0.022	0.029	0.059	0.057	0.020	0.075	0.026
" 下部	C	1.83	1.26	1.38	0.73	1.49	0.86	1.52
	S	0.116	0.062	0.10	0.111	0.045	0.048	0.031

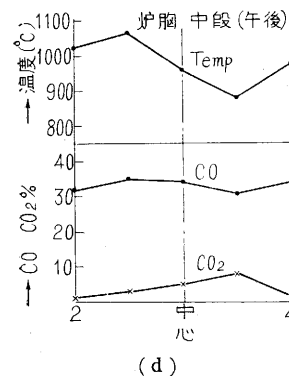
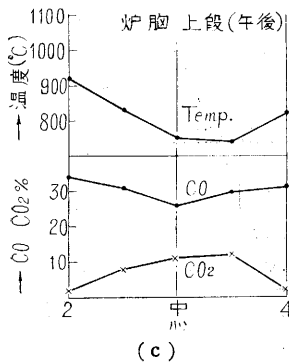
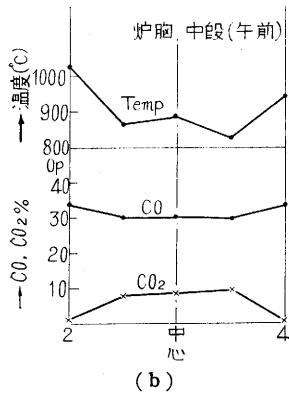
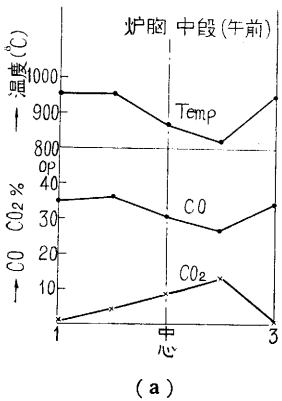
硫黄は上部で 0.03~0.07%, 下部で 0.05~0.1% といずれも増加の傾向を示す。大型炉の実験例(1)と比較すると, 炭素はそれぞれ 2%, 3% で硫黄は 0.12%, 0.18% で本実験例よりいずれも高くなっている。海綿鉄の炉内における加炭について, 実際この程度のものかどうかはまだ十分に説明がなされておらず, 海綿鉄は一般に C を余り吸収せず, 熔融状態に移りコークス塊をぬらした後だけ 3Fe(l) + C = Fe₃C の反応によって速かに加炭されるという説と, 海綿鉄の状態でだけ多量の C が沈積するために融点が低下し, 速かに溶解され, 採取試料は加炭

量の少ないものが多いという反対説があり⁽²⁾本実験結果をもって、実際の作業中の状態とみるのは早計であろう。もし朝顔での海綿鉄の加炭がこの程度とすれば、湯溜りでの吸炭は非常に急速であろうと推定されるが、さらに今後の研究が必要である。

2) ガス・温度分布

布: 炉胸のガス・温度分布の実験結果を第3図(a), (b), (c), (d), (e)に示す。第3図(e)は午前の中段の実験結果を炉壁際、中間部別に一つの図にまとめたものである。以上の図から一般的に次のことがわかる。① 炉壁際の温度が中心を含む中間部より高い(約100°C)。

② 温度が高いほど、COは高く、CO₂は低い。したがって炉壁際にCOが高く、CO₂が低い。③ 各羽口の対面方向の、(1)-(3), (2)-(4)では温度、COはconcaveをなしている。さらに、午前の中段の試験についてみると、(2)の中間部の温度はその炉壁と同じく他の中間部より高い。また、(2)の炉壁の温度は他の炉壁の温度が950°Cで一定であるのに比べ約1,020°Cで最も高い。午後の中段の(2)-(4)では(2)の中間部の温度がその炉壁より高い。上段では中段より約100°C低く(750°~900°C)CO₂が高く、COが減少している。傾向は同時に採取した中段試料と異なり、炉壁の(2)の中間部はその炉壁より低く(2)



(4)の間で concave

である。以上をガス流および鉄鉱石の還元状態との関係からみると、原則として周辺流であり炉壁では中心を含む中間部のガス流速より速い。午前中は(1)側は比較的中間部まで風が入っており、(2)側は周辺流であったが、

午後は中間まで入るようになったが(4)側は変っていない。すなわち(1)側では装入物の降下速度も早く、還元の進行が遅れCO₂が少なく、これに反し(3)-(4)側の中間部では装入物の降下速度は遅く、より有効に還元が進行しCO₂が高いと思われる。これは鉄石の還元試験の結果とよく一致している。ガス・温度分布は時間的に変動し、この2回の実験で炉のガス流を決めることはできないが、装入物の分布試験の結果では、特に分布はかたよらず装入ごとに at random になること、またいままでの結果では周辺流であり、棚吊りの現象はみられず、かつ(2)-(3)-(4)側の還元が最も進行しているとみられることは今回も再確認された。

結論

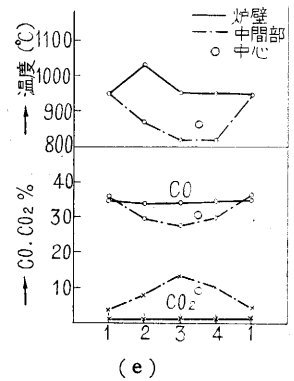
鉄石粒度を5~10mmから3~5mmに変更した結果は第3次および第4次作業中行った実験⁽³⁾とはほぼ同じく(2)-(3)-(4)側の還元が他の部分より進み、かつ粒度変更による炉況の悪影響もみられず、満足する結果が得られた。今後3~5mmの鉄石粒度の利用の可能性が明らかになった。(1957. 12. 27)

文献

- 1) 鉄鋼要覧
- 2) N. E. Krasavtsev. metallurgiiia Chuguna (1952) p. 191~195
- 3) 金森他・東大生産技術研究所報告 1 屯試験高炉の作業について, 6, 7 (1957)

正誤表 (1月号)

頁	段	行	種別	正	誤
表2			目次	24ページ	23ページ
3	右	21	本文	21行目の終りの“)”は	
4	左	4	本文	23行目の“応力”の後へ	(写真3)
"	"	9	"	(写真3および写真5)	腐蝕乾燥
6	"	7	"	腐蝕一乾燥	腐蝕乾燥
12	"		第10図	2段階試験	2段階試験
22	右	22	本文	Defocus	Deforcus
				シリカゲル	シリカゲル



第3図 炉胸上, 中段のガス分布および温度 (横軸は羽口上)