

Table 4. The result of multiple correlation analysis.

Variable	Partial correlation coefficient			
	421	321	311	111
O ₂ % in blast	58.54*	57.52*	55.70*	50.68*
Heat consumption required	-0.89*	-1.04*	-0.86*	-1.29*
Blast temperature	1.54*	1.55*	1.54*	1.58*
Si% in pig iron	-231.8*	-221.1*	-219.1*	-176.2
Degradation index	-10.32*	-13.87*	-12.51*	-24.16*
Constant	-343.8	-217.2	-323.6	589.4
Contribution	92.3%	92.2%	92.3%	90.8%
Variance	803.8	815.4	807.6	953.7

Level of significance * 90%

である。

実際のデータに使用した崩壊指数は、上記の補正を加えた後に各銘柄の配合割合から加重平均したものである。それぞれの崩壊指数の組合せにしたがって行なつた重回帰分析の結果を Table 4 に一括する。

4. 重回帰分析の結果と考察

Table 4 に得られた結果の考察を行なう。なお、この重回帰分析は危険率 90% として行なつたものである。

まず寄与率から考えると、4つの場合すべてについて 90% 以上となり高い寄与率を示している。これは選択した要因に大きな誤りがなかつたことを意味する。偏回帰係数は (111) の場合を除いてはすべて妥当な意味をもっている。すなわち、送風中酸素含有量および送風温度が上昇すると出鉄量は増大し、鉄石還元必要熱量、鉄中 Si 含有量および鉄石の還元崩壊が増加すると出鉄量は減少する。以上は高炉操業者の経験と一致する。

さらに寄与率の大小から崩壊指数の選択方法について考察する。全鉄石の崩壊指数を同列に扱った場合の寄与率は最も低く、先に予想した通りこの考え方は妥当性を欠くと推定される。寄与率が高く現われた場合は (421), (321), (311) の場合についてであり、これはレットの崩壊指数を他鉄石に比較して高く見積ることの妥当性を支持するものと結論される。以上から自溶性焼結鉄の還元崩壊が炉況に与える影響はそれほど大きくないと推定される。

以上の解析結果から鉄石の還元性状が生産性にかなり影響を与えることが判明した。具体的には、還元所要熱量 10万 kcal の上昇で 100 t 近い減産が、また崩壊指数 1% の上昇で、10 数 t の減産が現われることになる。こうした点から最近の整粒による平均粒径の低下をさらに前進させ、各銘柄別に還元性状から判断して適正粒度、適正配合を決定することが望ましいと結論される。

5. 結 言

(1) 鉄石の還元性状を考慮した重回帰分析の結果、還元性状の生産性に与える影響の大きいことが判明した。

(2) リンダー試験装置を用いて得られた結果は、各鉄石に関して同列にあつかうべきではなく、特にレットに関しては崩壊指数を高めに見積る必要がある。

(3) 出鉄量に影響する要因は重回帰分析結果の寄与

率から考えて、送風中酸素含有量、鉄石還元所要熱量、送風温度、鉄中 Si 含有量、鉄石還元崩壊性状の 5 個を選択することによつて十分説明ができる。

文 献

- 1) T. L. JOSEPH: B. F. and Steel Plant, May and April, (1957)

(19) 鉄鉄石の熱割れについて

八幡製鉄所, 技術研究所

工博 石光章利・菅原欣一・○佐藤勝彦

Study on Degradation of Iron Ore by Heating.

Dr. Akitoshi ISHIMITSU, Kin-ichi SUGAHARA and Katsuhiko SATO.

1. 緒 言

イタピラ鉄石の熱割れ現象が見出され、これが溶鉄炉操業に障害をおよぼすことが判明して以来、鉄鉄石の熱割れは装入物の熱間性状の中でも重要な項目としてとり上げられるようになった。イタピラ鉄石の場合はヘマタイトの結晶面が一方向の面内に規則的に配列するため、熱膨張がこの面内にまとまった形で現われて、この面内での剝離を惹き起こすものであることを推定しすでに報告したり。

その後イタピラ鉄石以外にも熱割れ現象を起す鉄石がいくつか見出され²⁾³⁾、鉄鉄石の熱割れは、イタピラ鉄石固有のものではなく、かなり多くの鉄鉄石に共通な性質と考えるべきことが判明した。しかし熱割れの機構的な点についてはさらに検討する余地があるものと考え、本報ではそれらの問題について調査を行なうこととした。また装入物の熱間性状の中で、熱割れと並んで重要なものと考えられる還元粉化性についても検討を行ない、両者の関連についても調査した。

2. 試 験 方 法

試験は横型の管状電気炉を使用した。これに試料を 3 コ磁製ポートにのせて装入し、Table 1 に示すような試験条件にしたがって試験を行なつた。

また必要に応じて高温に直接装入する急速加熱試験をも併用した。

3. 試験結果および考察

試験結果を Table 2 に示した。本報の試験では熱割れの著しかったものとしてイタピラ鉱石 A が挙げられ、中程度のものとしてワイヤラ鉱石 B があり、その他ハマーレー鉱石、ケダー鉱石にわずかな熱割れが見出されたに過ぎなかつた。また現在²⁾³⁾⁴⁾まで熱割れ鉱石と考えられて来たキリブル鉱石、スワジランド鉱石などには熱割れ現象は生じなかつた。それに対して還元粉化試験

では、ズングン鉱石を初めとしてかなり多くの銘柄鉱石に粉化現象が現われている。これは鉄鉱石の場合にも焼結鉱の場合と同様に還元粉化性についてかなりの考慮を払わなければならないことを示しているが、その機構に関しては、焼結鉱の場合とかなり異なるものと考えられる。焼結鉱の場合は、構成鉱物中の不安定相が還元粉化現象の主因をなしていると考えられるのに対して⁵⁾鉄鉱石の場合には、その成因から考えて、そのような不安定鉱物相の存在は考えがたい。鉱石の場合は還元粉化後の形状が試料の組織と強い相関関係を有していることである。ヘマタイト処理の発達著しいイタピラ鉱石 A の場合 (Photo. 1) は当然のこととしても、スワジランド鉱石 A の場合組織的にはヘマタイトの層状であり (Photo. 2, 3) 還元粉化後の形状もそれを反映して層状にかなり大きな塊となつている。またスワジランド鉱石 C はヘマタイトおよびリモナイトの微細な混晶組織のものであるが粉化後は不規則塊状のものとなつている。焼結鉱の還元粉化に最も類似しているズ

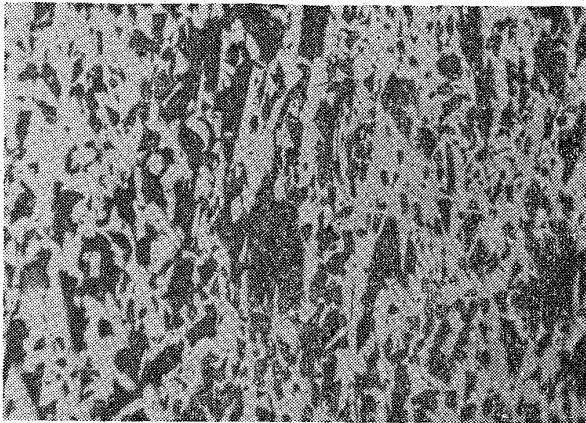
Table 1. Conditions of experiments.

	Degradation test of heating	Degradation test of reduction
Apparatus	Horizontal tube fur.	Same as left
Rate of temperature elevating	450°C/h	"
Max. temperature	700°C	"
Gas components	100% N ₂	30% CO-70% N ₂
Gas volume	1 l/min	Same as left
Sample size	13mm□	"
Sample	3	"

Table 2. Size analysis after experiments.

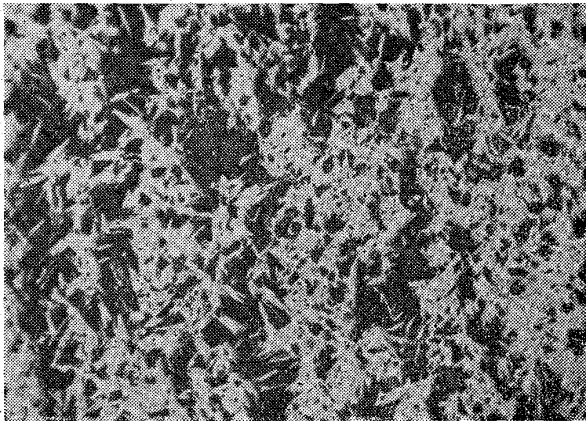
		Degradation by reduction						Deg. by heating				
		+10mm	10~5	5~3	3~1	-1	*	**	+5mm	5~3	3~1	-1
Itabira	A	79.4	11.0	2.7	4.0	2.9	27.8	0.007	57.9	15.8	16.4	9.9
	B	100	0	0	0	0	22.5	0.006	100	0	0	0
	C	"	"	"	"	"	29.5	—	"	"	"	"
Swazi-land	A	73.9	25.3	0.4	0	0.4	27.8	0.007	100	0	0	0
	B	100	0	0	"	0	22.1	—	"	"	"	"
	C	84.9	10.6	0.33	0.7	0.5	25.6	0.008	"	"	"	"
Goa	A	99.8	0	0	0	0.2	48.3	0.048	100	0	0	0
	B	81.0	17.1	0.7	0.2	1.0	45.5	0.050	"	"	"	"
Dungun	A	47.8	5.6	11.7	21.0	13.9	37.7	—	100	0	0	0
	B	100	0	0	0	0	6.5	—	"	"	"	"
	A	100	0	0	0	0	22.9	—	100	0	0	0
	B	96.2	3.0	0.2	0.2	0.4	22.9	—	53.5	24.4	17.4	4.7
	C	100	0	0	0	0	28.5	—	100	0	0	0
	D	"	"	"	"	"	24.0	—	"	"	"	"
Ham-mersley	A	100	0	0	0	0	24.9	0.007	91.1	7.6	1.3	0
	B	"	"	"	"	"	25.4	0.009	100	0	0	0
	C	"	"	"	"	"	36.0	0.008	"	"	"	"
Nevada		92.3	6.4	0.2	0.2	0.6	—	—	100	0	0	0
Romeral		90.0	10.0	0	0	"	9.1	—	"	"	"	"
Kedak	A	100	0	0	0	0	36.0	—	100	0	0	0
	B	"	"	"	"	"	29.5	—	92.4	3.0	3.0	1.5
Kiriburu	A	100	0	0	0	0	18.9	—	100	0	0	0
	B	"	"	"	"	"	13.1	—	"	"	"	"
Rhodesia	A	100	0	0	0	0	7.2	0.016	100	0	0	0
	B	"	"	"	"	"	5.8	0.009	"	"	"	"

Note: * Reducibility (%) ** Deposition carbon (g/20g-sample)



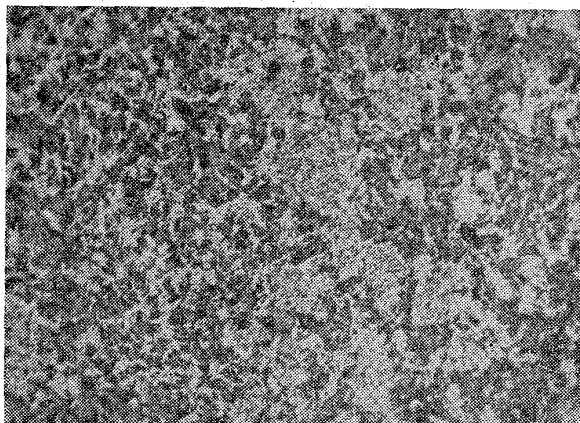
×200 (4/5)

Photo. 1. Microstructure of Itabira ore A.



×200 (4/5)

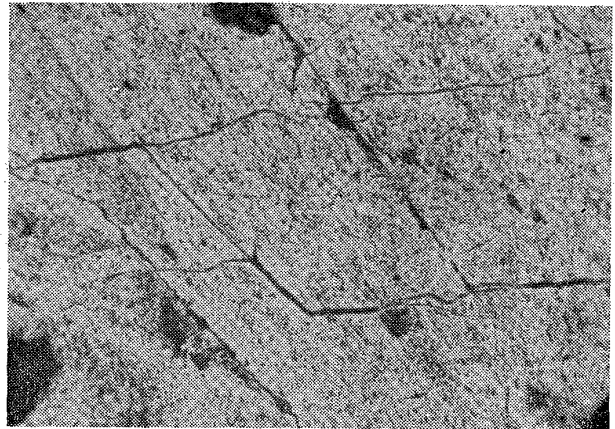
Photo. 2. Microstructure of Swaziland ore A.



×200 (4/5)

Photo. 3. Microstructure of Swaziland ore A.

ンゲン鉱石Aについても急速加熱の試験では熱割れ現象を示し、また組織にもかなり細粒不規則状を呈していることから考えて焼結鉱の場合とは根本的に異なるものと推察される。このようなことから鉄鉱石の場合には中性雰囲気では現われなかつた熱割れ現象が還元雰囲気下では鉱物粒子相互の結合力が還元進行に伴い低下するために明瞭に現われてくるものと考えられる。したがって鉄鉱石の場合には熱間性状としては、熱割れ性が最も重要な役割をもつものの一つと考えても間違いはないよう



×200 (4/5)

Photo. 4. Microstructure of Dungun ore A.

Table 3. Results on new samples.

Kinds of sample ore	Mineral Components	Results	
		Slowly heating	Rapid heating
Swaziland	hem	○ ×□	○ ×□
Goa	hem+ mag+ lim	○ × ○	□ × ○
Dungun	hem+ mag+ lim	○ ○	□ ○
Kiriburu	hem+ lim	□ ×	□ ×

- × Remarkable degradation
- Slight degradation
- No degradation

に思われる。

次にこの試験では熱割れを生じなかつたキリブル鉱石、スワジランド鉱石について当所入荷時期の異なるものから新たに試料を取り試験したところ次のごとく中性雰囲気でも熱割れを生じた。

キリブル鉱石の構成鉱物はヘマタイトとリモナイトであり、これらが微細な混晶組織を形成しており、組織的に見てイタピラ鉱石とはかなり異なっている。したがってこの種の鉱石の場合にはリモナイト部分の脱水とそれに起因する応力発生に熱割れ現象の主因があるものと考えられる。このことから鉄鉱石の場合の熱割れ現象は、その原因からイタピラ型およびキリブル型2の種に分類して考えることが必要であろう。

ところが Photo. 4にも示した通りキリブル型の組織を呈する鉱石の場合では、かならずしも常に熱割れ現象を起こすとはいえず、組織的な形態から、その熱割れ性を推定するのは、現段階では正確さを期し難いようであり、機構的にもさらに検討を行なう必要がある。

それに反してイタピラ型熱割れ鉱石は還元性雰囲気下の試験を併用すれば、その熱割れ性を組織と結びつけて

考えることが可能であるものと考えられる。

4. 結 言

従来の熱割れ試験に引き続いて本報では還元雰囲気中での試験を併用して鉄鉱石の熱間性状の検討を行なった。その結果次のような諸点が明らかになった。

(1) 鉄鉱石の熱割れはその原因によつてイタピラ型およびキリブル型の2種類に分けられる。

(2) イタピラ型熱割れ鉄鉱石は組織的な面からの推定が可能であるが、キリブル型熱割れ鉄鉱石にはまだ検討の余地がある。

(3) 鉄鉱石にも焼結鉄と同様に著しい還元粉化性を起こすものがある。

(4) 還元粉化の機構は焼結鉄の場合と異なり熱割れ性が中性雰囲気の場合より明確な形を現わすことによるものと推察される。

今後はキリブル型の熱割れ機構、還元粉化性と温度条件の関係などにつき検討を行なう予定である。

文 献

- 1) 石光章利他: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 313
- 2) 富士・中研: 学振 54 委-882
- 3) 鋼管・技研: 学振 54 委-883
- 4) 製鉄部会資料・鉄 25-1-自(2)
- 5) 石光章利他: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 681

(20) 鉄鉱石還元試験の高炉操業への適用

八幡製鉄所, 技術研究所

工博 児玉惟孝・堀尾竹弘・○彼島秀雄

八幡製造所 斧 勝 也

Application of Reduction Test of Iron Ore to Blast Furnace Operation.

Dr. Koretaka KODAMA, Takehiro HORIO
Hideo KANOSHIMA and Kastuy ONO.

1. 緒 言

塊鉄鉱石の還元試験法としては学振法が制定され、各種鉄鉱石の被還元性の良否の判定に使用されている。しかし学振法による還元試験結果と高炉での還元性との関係を定量的に求めた報告は少ない。これは学振式還元条件が動的な高炉内雰囲気の一部を具現するにすぎないという概念と、現状では炉内での個々の鉄鉱石の還元状況を

知る情報も少なく、また数銘柄以上の鉄鉱石を炉内に配合装入しているため、鉄鉱石自身の被還元性と高炉操業との関係を数式的に把握することが困難なためと考えられる。

本報においては両者の関係を統計的に求め、学振法による鉄鉱石の還元率と高炉での間接還元率およびコークス比との関連性について検討した。

2. 解析方法

2.1 特性値および要因

特性値としては高炉での間接還元率をとつたが、これは鉄鉱石の全被還元酸素の中、 H_2 および CO ガスによつて還元される割合を炭素バランスと実績による水素利用率から計算した。

要因としては鉄鉱石の被還元性および高炉の還元率に影響をおよぼす諸因子を選んだが、各鉄鉱石の被還元性については、使用銘柄が多種にわたるので、学振式標準還元試験の還元率で層別して Table 1 に示した5要因に分類した。

還元率 50% 台と 40% 台を一括したのは、還元率 50% 台のインド、イーグルマウンテンを使用した月が少なく、これを層別することは解析データの構造上不適当と考えたからである。さらに銘柄変更の際の問題として当然鉄含有量、酸素結合量の問題が生じるが、ここでは鉄分のみを補正を行ない、鉄分 1kg/t-pig に相当する鉄鉱石変更の際の影響について解析することにした。

鉄鉱石以外の要因としては、装入回数、熱風温度、雑原料使用量、ボッシュガス濃度を選んだ。これらの要因は高炉の間接還元率に対して直接あるいは間接的に影響するものと考えられ、それを導入する形については十分研究する必要があるが、本報では被還元性の異なる鉄鉱石間の炉内還元率への差異を知る目的のため、もつとも単純な形で導入することにした。

2.2 解析結果

解析期間は主として重油の吹込まれていない期間の月平均値を使用し、当所戸畑 1, 2, 3 高炉を対象に解析した。

各要因の間接還元率に対する影響を示す相関係数、偏相関係数、重相関係数、偏回帰係数を CAB 500 電子計算機で計算し、その結果の一例を Table 2, Table 3, Fig. 1 に示した。

各要因は鉄鉄を 1t 生成する鉄鉱石中の Fe 含有量を単位としているため、層別した鉄鉱石中 Fe 含有量の総和は約 950kg となる。したがつて鉄鉱石銘柄を変更した際の

Table 1. Classification of raw materials by reduction ratio.

	Sintered ore	Reduction ratio >70% ore	Reduction ratio 70~60% ore	Reduction ratio 60~40% ore	Reduction ratio >40% ore
Raw materials	TDL Sinter (70.40)	Kedah (74.77)	Dungun (62.63)	Eagle Mt. (55.80)	Romeral (37.37)
		Goa (73.20)	Rompin (61.76)	Indea (52.30)	Ipoh (36.89)
		Temangan (73.28)		Africa (49.63)	Nevada (31.10)
				Santa-Fe (49.17)	Acari (29.11)
				Morcona (48.69)	
				Itabira (45.20)	
				Chile (44.35)	
				Adrianitas (42.11)	
				Algarrobo	
				Heizer	