

装入前にどのような操作を取られているのか。

【回答】

(1) $\text{CaO} \cdot 2\text{FeO}$ は ASTM カードにより同定した。
(Ca-iron oxide) 三元系カルシウムフェライト, $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ は認められなかった。

(2) ペレットの荷重還元時の 1100°C におけるガス圧力損失値と高炉におけるスリップ回数との関係を調べた結果、同時に装入する鉄鉱石の粉化性を考慮すると、相関性が認められた(図 5)。 1100°C で 200 mmAq 以上のガス圧力損失を生ずる原料は多量配合した場合、棚吊りスリップの原因となると考えられる。

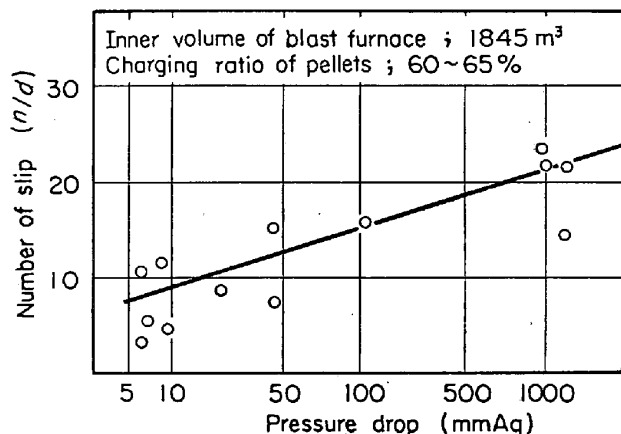


図 5. Relationships between pressure drop and number of slip per day in the blast furnace.

講演：小型シャフト炉における焼結鉱、ペレットの高温性状*

工博 中谷 文忠・工博 渡辺正次郎
住友中研 理博 吉永 真弓・中村 文夫

【意見】 神鋼中研 国井 和扶

ペレットの高温性状に関する最も重要な問題の1つは高炉で棚吊りを起こすような異常なペレットと正常なペレットの諸性質の相違点を知ることである。今回、正常ならびに異常ペレットについて荷重還元過程における性状の変化を調べた。実験結果を図1、図2(以上前刷論文**) および図4に示す。これらの実験結果から次の事柄が明らかにされた。

(1) 強度：まず還元前の圧潰強度は正常ペレットは 170 kg/p 、異常ペレットは $200 \sim 270\text{ kg/p}$ であり、後者のほうが高く、焼成上の問題は特にないと考えられる。次に還元後の圧潰強度は、正常ペレットでは最低 20 kg/p 、異常ペレットでは最低 40 kg/p であり、また還元後の回転強度については、正常ペレットは 800°C で低下するが、異常ペレットは各温度で、98%以上を保っている。

(2) ふくれ指数：正常ペレットは11.0%，異常ペレットCは11.2%，異常ペレットDは31.1%であった。

* 昭和43年4月本会講演大会にて発表

鉄と鋼：54 (1968) 3, S 287~285

** 鉄と鋼：54 (1968) 3, S 284~285

この結果によると、高炉で棚吊りを起こしたペレットCの異常性の原因は膨張以外にあると考えられる。

(3) ガス圧力損失：正常ペレットの場合は、 1100°C において約 10 mmAq であったのに対して、異常ペレットの場合は $350 \sim 1000^\circ\text{C mmAq}$ であった。

(4) ペレットの溶着性：正常なペレットの場合は 1100°C においても溶着の程度は小さいが、異常ペレットの場合は 1100°C 以下の温度で著しく溶着し、個々のペレットの形状をとどめていない。

以上の事柄からペレットの棚吊り現象に関する最も重要な因子の1つはペレットの 1100°C 以下における著しい溶着であると考えられる。この著しい溶着は強度、膨張性のみからは説明されない。

そこでペレットのスラグ組成を RANKIN の $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系の溶融点のダイアグラム上にプロットし同図から溶融終了温度を求め、この温度と圧力損失との関係を調べたところ、相関性が認められた。(図7)

したがって、ペレット焼成上の問題もなく、またある種ペレットのごとき膨張が認められない場合は、スラグ組成の溶融点が、比較的低い温度でのガス圧力損失の上昇に対して重要な影響を及ぼしていると考えられる。

【質問1】

小型シャフト炉に⑥ペレットを使用した場合、作業上いかなる支障が生じたか、具体的に示してほしい。

【質問2】

正常ペレットおよび異常ペレットの高温での性状の変化を小型シャフト炉で調査された結果、棚吊りを起こさせる最も大きい因子は何か。

【質問3】

各レベルにおける装入物の金属鉄、 FeO ならびに気孔率などの変化を示してほしい。

【回答】

(1) ⑥ペレット装入後 1 hr 40 min で実験を中止したので、特に具体的な支障は認められていない。しかし焼結鉱、④ペレットの場合にくらべて炉内温度の低下傾向および風圧レベルの上昇が認められた。

(2) 焼結鉱でもペレットでもしばしば装入物降下が不調になることがある。しかし棚吊りか単なるブリッジングかはわからなかった。ただ和歌山製鉄所で④ペレット、⑥ペレットの装入試験をおこなった結果、⑥で棚吊りが頻発した。図8に示すように⑥ペレット使用により棚吊りが増加しているが、このときの⑥ペレットと④ペレットの性状は表2~4に示すようにふくれ指数が⑥ペレットで若干高いほか著しい差異は認め難い。両ペレットのスラグ成分を $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系ダイアグラム上にプロットしたのが図2である。両ペレットとともにスラグの融点は 1400°C 以上である。図10は⑥ $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系ダイアグラム上に両ペレットのスラグ成分をプロットしたものであるが MgO を考慮した場合には④ペレットと⑥ペレットでは明りような融点の差が認められ、⑥ペレットではスラグの融点は $1300^\circ\text{C} \sim 1400^\circ\text{C}$ となる。しかし神鋼の示したペレットの場合 MgO を考慮していないので、融点の比較から直ちに⑥ペレット使用による棚吊りの原因を論ずることはできない。しかし MgO を考慮した場合⑥ペレットが④ペレットに比し格段に融点の低いスラグ成分を含んでいることは注目すべき点であろう。

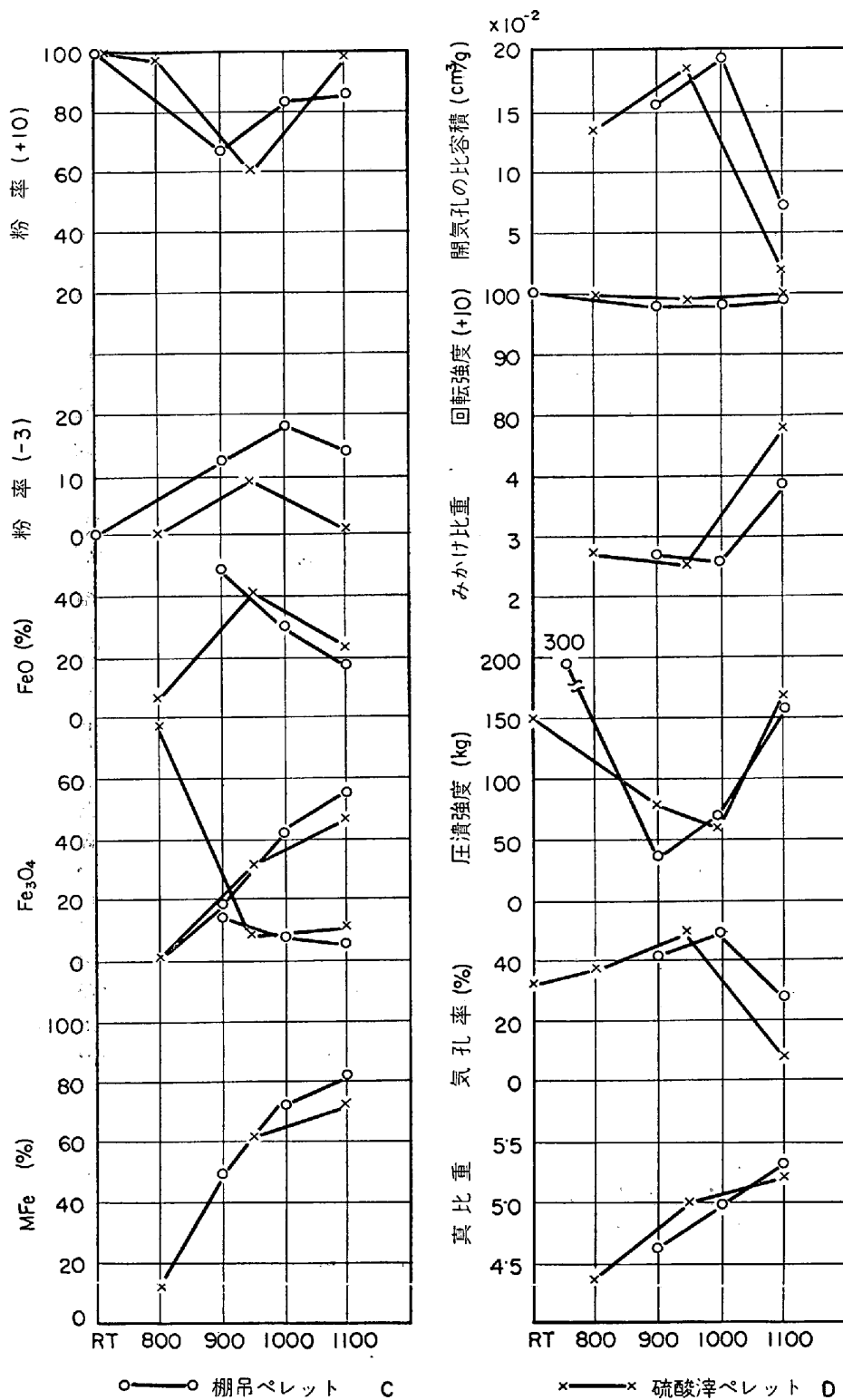


図 6. 荷重還元過程における装入物の性質の変化 (異常な装入物).

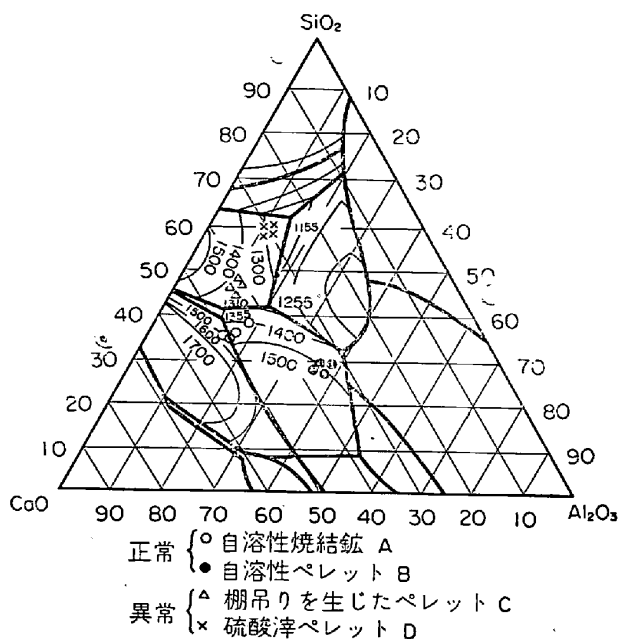


図 7. 装入物のスラグ組成

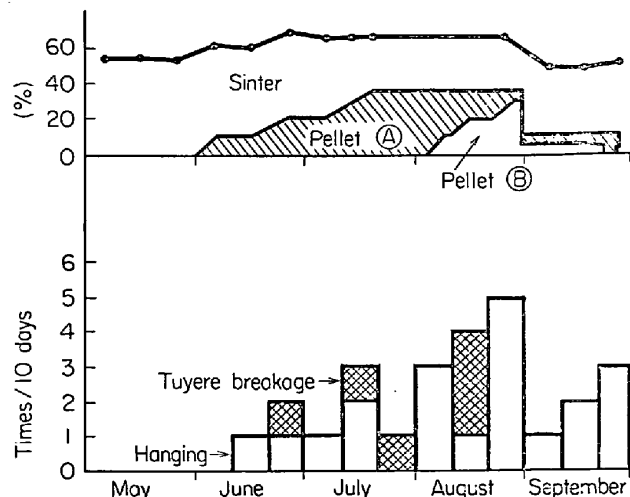


図 8. Operation results of the blast furnace at Wakayama works.

両ペレットでふくれ指数が異なるので表 4 に示すような苛酷な還元条件で膨張性のテストをおこない表 5 にその結果を示した①ペレットは苛酷な還元をおこなつても

表 1 Chemical composition of pellets ① and ②.

	TFe	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	P	S
②	64.98	2.59	90.03	0.54	4.29	0.76	0.85	0.014	0.013
①	64.50	0.59	91.63	0.35	3.83	0.51	2.58	0.018	0.014

表 2 Strength of pellets ① and ②.

	Crushing (kg/p)		Tumbler (%)	
	Mean	Range	+ 5 mm	- 3 mm
②	143	20—289	96.4	3.0
①	141	15—305	93.6	5.7

膨張は著しくないが、②ペレットの場合は明りような異常膨張を示し、①②両ペレット間のふくれ指数の差はきわめて明りようとなる。したがって、①②両ペレットでは品質特に還元性状に著しい差があるといえるので、②ペレット使用による炉況不調はその還元性状に帰因するとも考えることもできる。

3) 気孔率は試料不足のため測定していない。MFe, FeO%は表 6 および 7 に示した。

表 3 Results of reduction tests on pellets ① and ②

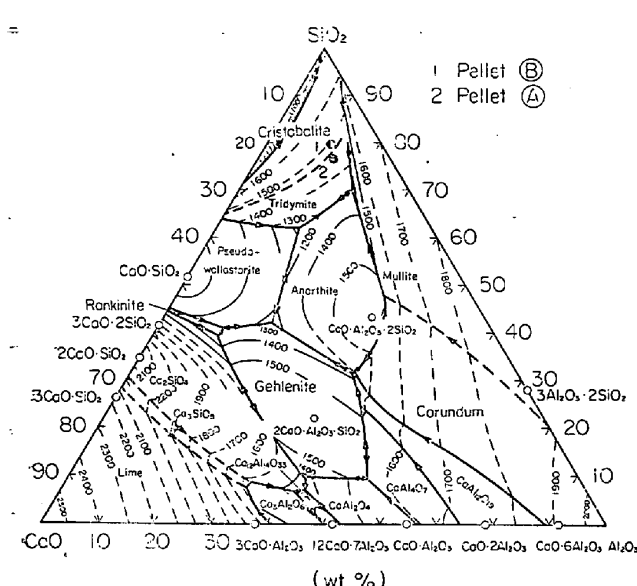
	% Reduction	Back gas pressure (mmAq)	Strength after reduction		JIS swelling index (%)	
			Crushing (kg/p)	Abrasion resistance (+3 mm%)	Mean	Range
②	68	6	43	98.4	18.1	8.3~35.6
①	74	5	30	97.2	13.8	5.5~24.2

表 4 Reducing condition on the swelling test.

	Reducing gas		Reducing temperature (°C)	Reducing time (hr)
	Composition (%)	Flow rate (cc/min)		
JIS	CO 3.0, N ₂ 70	500	900	1
High temp. reduction	CO 100	300	1000	2

表 5 Swelling index of pellets ① and ②.

	JIS		High temp. reduction	
	Mean (%)	Range (%)	Mean (%)	Range (%)
②	22.2	15.1~33.5	51.7	23.5~126.4
①	13.2	8.3~16.4	17.1	8.3~28.8

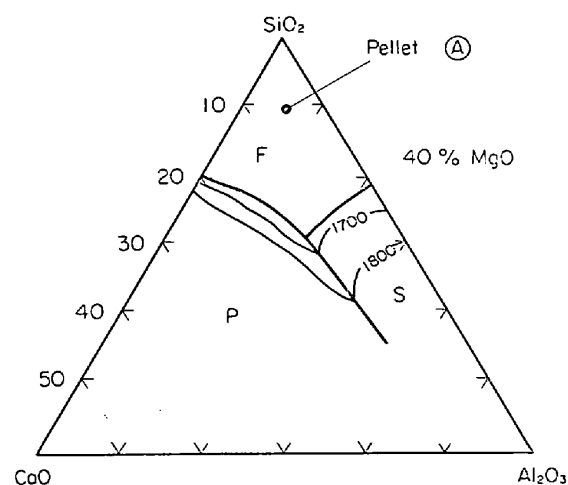
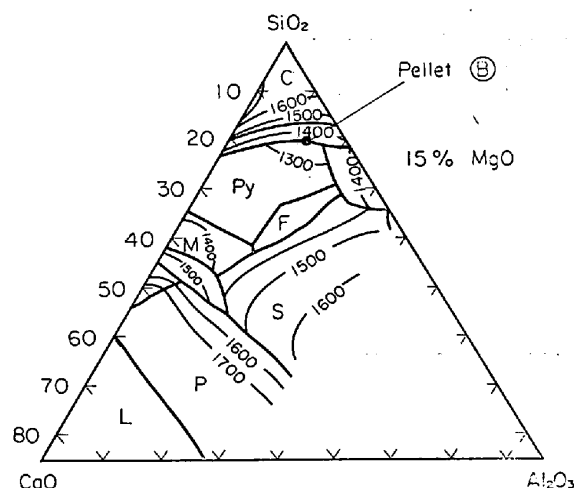
図 9. Slag compositions of pellets ① and ② in the system $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$.

【質問】 八幡技研 工博 児玉 惟孝

- (1) このような小型高炉は炉内条件の変動が大きく一定に保持できないように思われるが、何か特別の措置をとられているか。
- (2) 炉内にある装入物の昇温速度は高炉とどのように対応しているか。
- (3) コークス比が高いので炉内ガス成分が高炉とかなり異なるのではないかと、またこれの補正法はどうか。
- (4) 実験操作に必要な人員ほどの程度か、また実験操作は容易か、それともかなりの困難性があるのか。
- (5) 荷重軟化試験装置もほぼ同様な目的で作っているが、これに対するメリットはどの点にあるのか。

【回答】

- (1) 予想よりも炉内条件の変動は小さいので特別な措置はとっていない。変動が大きい場合はそれ自体を異常現象と見ている。たとえば通常は送風圧の変動±50 mm Aq程度で操業できるが②ペレットで操業すると400 mm Aq 圧力の上昇が見られた。
- (2) 高炉の昇温速度との対応はできていない。炉内滞留時間は約 1.5hr である。高炉と比較した場合シャフト部は割合から見て2倍長くつとてあるが高炉にくらべて昇温速度は格段に早いと考えられる。
- (3) 炉内ガス成分は高炉とかなり異なっている。炉頂ガス中の CO_2 は非常に低く、焼結鉍で操業した場合で $\text{CO}/\text{CO}_2=3.0$ である。特に補正をおこなっていない。
- (4) 実験に必要な人員は 6~8 名であるが、交替制を

図10. Slag compositions of pellets ① and ② in the system $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$.

とつたので実験は3~4名である。実験操作は装入物の降下が順調であるかぎり困難でない。

- (5) 従来 JIS 法還元, Linder 還元, 荷重軟化装置などで装入物の還元性状の検討をおこなってきたが、今回の実験の目的は 1) 従来の机上サイズの実験を拡大して補なう意味で JIS 法より大きい規模で還元させる。2) 溶融する所まで追跡する。3) 実際高炉と同様コークス, 石灰石を配合した条件で実験をおこなう, などにあり実炉の条件にはなおほど遠いにしても炉内各部の化学成分変化, 還元性状変化, コークスと鉍石の相互作用, 溶融に至る過程などがある程度解明できるのではないかと考えている。

表 6 Chemical compositions of sinter samples from the various zones of the shaft furnace.

Zone	TFe	MFe	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	S
Upper shaft	58.78	0.32	10.84	71.53	6.33	5.91	0.012
Middle shaft	60.46	0.55	18.68	64.89	6.53	5.60	0.054
Lower shaft	61.02	4.52	28.74	48.84	6.95	6.03	0.183
Middle I	64.14	13.25	25.94	43.93	6.64	6.03	0.935

表 7 Chemical compositions of pellet samples from the various zones of the shaft furnace.

	Zone	TFe	MFe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	S
①	Upper shaft	65.49	0.28	7.44	84.97	7.73	0.012
	Middle shaft	68.55	0.71	34.07	58.78	2.73	0.013
	Lower shaft	73.43	19.45	33.70	39.72	3.50	0.078
	Middle I	74.97	18.43	59.15	15.10	3.30	0.990
②	Upper shaft	66.60	0.41	12.36	80.89	3.23	0.013
	Middle shaft	69.39	0.30	38.30	56.22	1.79	0.015
	Lower shaft	77.49	29.33	17.68	49.21	1.56	0.076
	Middle I	79.02	28.93	29.96	38.32	1.47	0.046

表 8 Size degradation of sinter.

Zone	Screening index (mm)	% degradation	Abrasion resistance (%)	Temperature during operation
Shaft	Upper +10 + 5	78.95 99.90	76.12 99.34	200~300°C
	Middle +10 + 5	37.10 79.70	22.36 57.72	300~600°C
	Lower +10 + 5	60.69 96.03	27.12 82.87	600~900°C
Middle I	+10 + 5	47.00 88.00	31.34 78.02	900~1100°C
Lower shaft + Middle I	+10 + 5	51.89 90.87	29.84 79.75	

【質問】 富士技開 工博 西田 信直

1) 表 2*と表 3*, 4* に, 焼結鉱とペレットの炉内における熱間性状の変化が示されているが, 両者の挙動には相違がある. すなわち焼結鉱では 300~600°C の低温還元粉化帯において粒度分布, 回転強度ともに劣化の傾向を示すが, さらに装入物が降下するにともなつて粒度分布および回転強度の回復および劣化が見られる. 一方①ペレットでは装入物の降下にともなつて回転強度が低下し, 中段で回転強度が回復している. ②ペレットでは装入物の降下にともなつて回転強度の劣化が見られた.

③ペレットの挙動はスウェリングにともなう特異現象と考えて, 焼結鉱と①ペレットを比較した場合, 両者の挙動の相違が何に起因するものであるか説明していただきたい.

また, 焼結鉱が中段 I で粒度分布, 回転強度を劣化させる理由は何であろう.

2) 従来より, 装入物の熱間性状として, 低温還元粉化熱間還元回転強度, 還元後回転強度, 荷重軟化などが求められ, 特に荷重軟化炉は内通気にも関係があり, 石灰焼結鉱, 石灰ペレットには重要であるとして種々検討をされているが, このような荷重軟化現象が本試験の場合にも認められたであろうか.

また従来求められている熱間性状で, 本試験の結果と密接な関係のある特性は焼結鉱では還元粉化, ペレットではスウェリングと考えてよいであろうか.

【回答】

1) 本文表 2 の焼結鉱の場合はシャフト下部 (600~900°C) でいつたん強度が回復し, 中段 I (900~1100°C) でさらに強くなっている. これはサンプリングの際シャフト下部の微粒部分が中段 I まで落ち込んだためシャフト下部からの試料の粒度, ひいては強度が見かけ上高く出たものである.

したがってシャフト下部と中段 I とを合わせて示すと表 8 のようになり, 強度は炉頂から降下するにつれいつたん低下して後やや回復の過程をたどり, 表 3 の①ペレ

* 鉄と鋼: 54 (1968) 3, S 288~289

ットの場合と同様になる。

2) 例をペレットにとれば原形を保つまま中空となっているので特に荷重のために扁平となつたような形跡は認められなかつた。炉内のある深さまでは原形を保ちそこで急激に半熔融状態となり軟化過程を見出すまでに至らなかつた。

本実験で明りように認められる装入物の特性は指摘の通り焼結鉍では還元粉化、ペレットではスウェリングである。しかし今回のシャフト炉実験の場合のような膨張しにくい還元条件のもとではヘマタイト→マグネタイト過程における極端な強度低下としてあらわれる。以前学振反応管を使つて CO/CO₂ を種々に変化せしめて膨張性ペレットと正常ペレットの還元強度の比較をおこなつた時も同様な結果が得られたり。

文 献

1) 渡辺, 吉永: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 583

講演: 鉄鉍石類の高温性状試験について*

学振第54委員会物理測定小委員会

工博 三本木貢治・工博 大森 康男

浅田 実・安達春雄・工博 高橋愛和

【質問】 八幡技研 工博 石光 章利

(1) 焼結鉍のシャッター強度と還元強度の関係について焼結では 30cm 程度の装入層の火面降下は、大体10数分で完了する。これは 2cm/min という速度であるから、高温下で滓化が行なわれるのはきわめて短時間である。したがって滓化は局部的に進むが平衡とはかけはなれた状態である。

分析値の上での造滓成分が完全にとけ合つてできた均質なスラグが、全体の層に平均に行きわたつて粒子を接着しているものではない。

シャッターテストは、いわば接着力(スラグボンドの強度)の試験である。しかも常温でかつ全く雰囲気の影響はないものとみてよい。

焼結鉍の軟化性の場合、完全にスラグ化を終わつていないスラグ成分が、高温還元雰囲気下で改めてスラグ

化が進行しはじめたことを示すもの、または粉化をあらわすものと考ええる。

このような性質を常温強度と関連づけることはむしろかしいように思われる。

常温強度と還元強度との間に相関が認められている事実について、どのように解釈すべきか。

(2) 軟化現象と粉化現象について

焼結鉍の軟化現象と塩基度との関係の記述で、軟化と粉化が同期に論議されているように思われる。

高炉装入物として実際面からみると、軟化性は炉内の造滓過程から鉄鉄の分離につながるものであり、粉化性は、通気性、ガス灰などにつながるもので、別個の特性として取り扱うべきではないかと考える。

体積変化が軟化によるものか、あるいは粉化によるものかは試験過程ではある程度判断できる。

両者の差異を明確かつ鋭敏につかむために実験条件をちがえる必要はないか。

【回答】

(1) 常温強度と還元強度との間に相関関係が認められている事実について、どのように解釈すべきかとのご質問ですが、引用した文献54委-691を調べてみたところ、これらの焼結鉍試料は標準配合(コークス4%)に対してコークスを無煙炭に変えたものとか、NaFやCaF₂を添加した特殊なものについて焼結鉍の軟化温度が落下強度と正の相関関係があつたということである。したがってある条件の下では上記の関係が認められたにしても、一般的にそのように表現することは問題であり、削除したほうがよいと考える。

常温強度が焼けの状態を表わすときには還元強度と一元的な関係を示すことも考えられるが、一般的には両者の間に一元的な関係があると考えないほうがよい。

(2) 加熱による体積変化が軟化によるものか粉化によるものかをより明確にするためには荷重軟化試験によりガス圧変化と膨張収縮の変化を追求し、あわせて学振還元装置による還元後試料の肉眼判定(少なくとも温度を3水準とる)とを併用するのが一つの提案であるが、そのほかに適当な方法や実験条件があればご報告願いたい。

* 昭和43年4月本会講演大会にて発表

鉄と鋼: 54 (1968) 3, S 295~298