

ペレットの品質におよぼす焼成条件の影響

神戸製鋼所, 中央研究所

国井和扶・○西田礼次郎・鎌田靖男  
神戸工場

原田久光・勝間田嘉和・野々村武・淡路光宏

The Effect of Induration Condition on the Quality of Various Iron Pellets.

Kazuo KUNII, Reijiro NISHIDA, Yasuo KAMATA, Hisamitsu HARADA, Yoshikazu KATSUMATA, Takeshi NONOMURA and Mitsuhiro AWAI

I. 緒 言

ペレットの高炉への使用についてはかなり以前から行なわれており, その製造方法と成品特性の関係についても 2, 3 の報告<sup>1)2)</sup>がみられるが, いずれも焼成温度が低い場合で, 焼成温度の高い場合は明確でない。

ヘマタイト系の鉱石を主原料としてペレットを製造する場合にはかなり高温で焼成する必要があるといわれているので 1250~1350°C を主体にした比較的高温における焼成をとりあげ成品特性との関係を調べた。

本報告ではまず基礎的な研究として電気炉と焼成炉による焼成試験を実施し, 焼成温度とペレットの成品特性との関係を調べとくにヘマタイト系の原料の場合には高温焼成が品質向上に効果のあることを認め, 次いでグレートキルン式のペレット試験工場 (能力 20 t/day) においてヘマタイト系の原料を含めて各種のものについて高温焼成操作を行ない, ヘマタイト系原料のみでも高炉用ペレットを製造することができることを確認した。

II. 基礎的研究結果およびその考察

1) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ブリケット試験

通常の鉄鉱石には不純物として SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO などの脈石成分を含有しているのでこれらの影響を除くため Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 試薬を原料として使用した。

原料の粒度は -44 $\mu$  が 57.95% である。このように試薬を原料としたので大量に使用することができないためペレットの代りにブリケットで代用した。

生ブリケットは 1 個 2g の原料に約 15% の水分を添加し, 径 10mm のダイスを用い約 300kg/30min の荷重速度で成型した。したがって生ブリケットは径が 10mm, 高さが 9mm の均一な円筒形である。

焼成は大気雰囲気下で 980°C まで 17.8°C/min, いったん 980°C で 10min 保持したのち, 8.5°C/min の速度で上昇せしめた。

所定の温度に到達後は予定した時間保持し, 以後は炉中から取り出し大気中で冷却した。

Fig. 1 の試験結果によれば圧潰強度は焼成温度が 1350°C までは温度の上昇, 時間の延長とともに上昇する。しかし 1400°C 以上では逆に温度の上昇, 時間の延長とともに低下する。この結果からペレットの圧潰強度を最高にするためには 1350°C で, ある時間 (この場合 23 min) 以上焼成する必要があることが判つた。

次に強度と密接な関係にあると予想される気孔率と焼成条件の関係を調べたところ Fig. 2 に示すとおり, Fig. 1 とまったく逆の傾向を示した。

さらに Fig. 3 に示すように 1350°C までの試料の気

孔率と圧潰強度の間には高度の逆相関が認められた。

また各ブリケットの顕微鏡組織の観察結果によれば焼成温度の上昇, 焼成時間の延長とともに空隙の減少がみられ, 同時にヘマタイト粒子間の結合が進行する。1400°C 以上ではマグネタイトの発生が認められた。

2) 鉱石ペレット試験

次に脈石を含む実際の鉱石としてアフリカ, 硫酸滓, ララップ, ゴア C およびテマンガン鉱石を選びパン型ペレタイザーによつて径 15~17mm 程度の生ボールを作り電気炉によつてブリケットの場合と同じ速度で昇温し 1150~1450°C の間で焼成した。焼成後のペレットの径

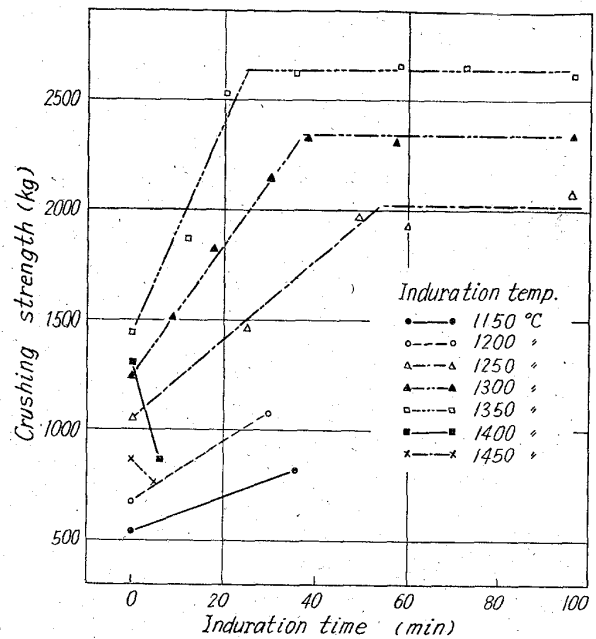


Fig. 1. Relation between crushing strength and induration time.

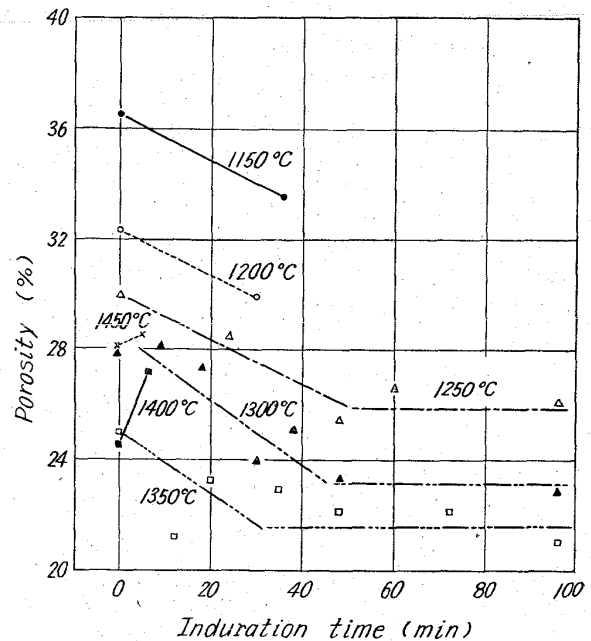


Fig. 2. Relation between porosity and induration time.

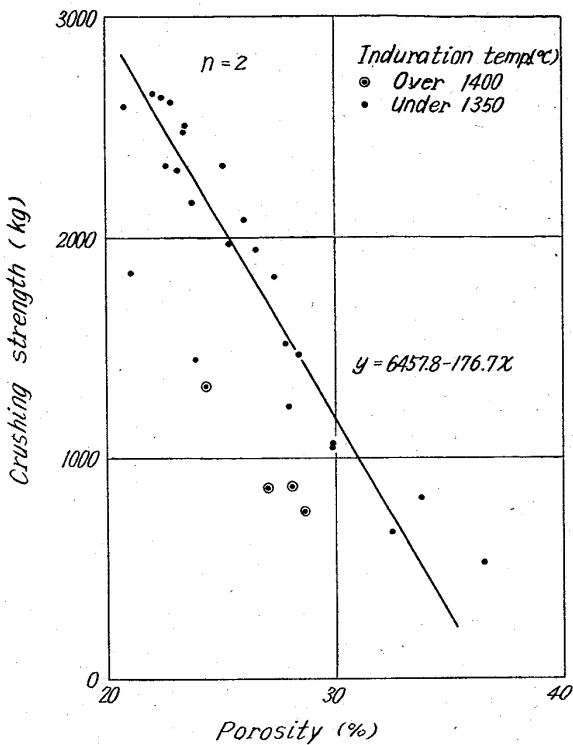


Fig. 3. Relation between crushing strength and porosity.

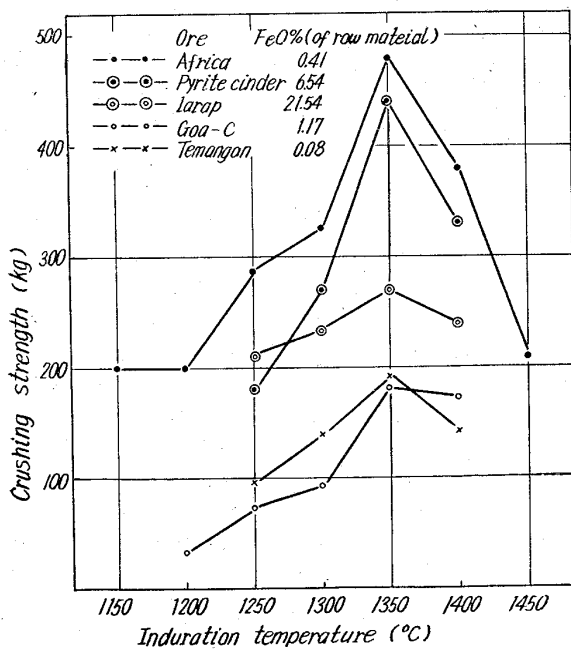
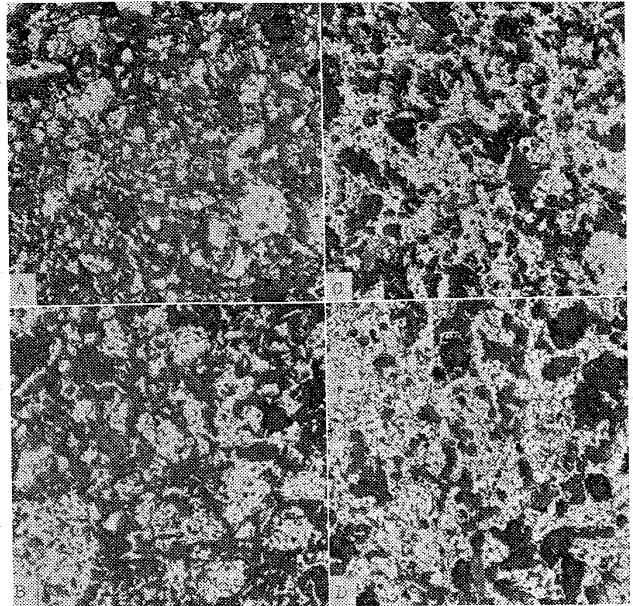


Fig. 4. Effect of induration temp. on crushing strength.

は 14~16mm の範囲である。

試験結果を Fig. 4 に示したがいずれの原料鉱石においても前述のブリケットと同様、焼成温度が上昇するにしたがい圧潰強度は増加し 1350°C で最高に達する。しかし 1400°C 以上になると、焼成温度が上がれば逆に圧潰強度が低下することを確認した。

また原料がヘマタイトの場合には焼成温度の影響が大



Induration temp (°C)  
A: 1200 B: 1250 C: 1300 D: 1350

Photo. 1. Microstructure of goan pellet.  
×100 (1/2)

きく、マグネタイトの場合にはその影響が少ないが、これはヘマタイトでは焼成によつてボールが収縮すると同時に各鉱粒が接触点において結合する。この現象は温度の上昇とともに活発になるのみであるに反し、マグネタイトの場合は焼成中にマグネタイトがヘマタイトに再結晶する際に強固な結合ができるためである。

Photo. 1 に一例としてゴア C ペレットの焼成温度と顕微鏡組織の関係を示したが、焼成温度が上昇するにしたがい空隙は減少し Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子も収縮し、緻密となりその後、隣接の粒子同志が接触、結合、成長し Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子の強固な網状組織を形成する。脈石部分も低温ではほとんど反応していないが高温になるにしたがいスラグ化し酸化鉄粒子と結合していくようである。

### 3) 焼成炉による試験

電気炉による焼成試験においては圧潰強度の高い緻密なペレットの製造条件が判明したので次に 3 種類のヘマタイト鉱を対象として 2) と同様パン型ペレタイザーで生ボールを作り、次に 20kg/charge の焼成炉によつて焼成した。焼成は C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> と O<sub>2</sub> を用い完全燃焼するように注意しながら、1000°C まで 16°C/min、以後目標温度までは 18°C/min で上昇せしめ、到達後は 1200°C の場合は 40min、1350°C の場合は 10min 保持する。冷却は燃焼を止め空気を吸引して行なつた。

成品ペレットは圧潰強度の測定のみならず、圧縮—還元試験も行なつた。

Table 1 に使用原料の化学成分、粒度および試験結果を示した。

焼成温度が 1200°C の場合、圧潰強度は低く、圧縮率と還元後ペレットの破壊度合は高く、この値では概して高炉での使用は望ましいものではないと予想している。

これに反し焼成温度を 1350°C まで上昇せしめると圧潰強度は高くなり、収縮率と還元後試料の破壊度合も低くなる。一方還元率は若干低下し、その上焼成後ペレ

Table 1. Properties of raw material and product.

Remarks	Properties of raw material						Properties of product									
	Chemical composition (%)					Particle size (-74 $\mu$ %)	Induration temp. (°C)	Dia (mm)	Crushing strength (kg/ball)	Porosity (%)	FeO (%)	Compression-Reduction test				
	T.Fe	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO							Particle size after Rd test (mm)			Reduction ratio (%)	Shrinkage ratio (%)
	>10	10~1.2	<1.2	>10	10~1.2							<1.2				
Africa	64.42	0.41	3.70	1.59	<0.10	89.6	1200	18.4	260	14.4	0.17	94.1	5.5	0.4	37.5	12.6
							1350	17.3	827	9.6	0.26	99.9	0	0.1	34.0	7.5
Goa-C	54.63	1.17	5.58	8.57	<0.10	94.8	1200	15.8	96	23.7	0.13	72.7	22.1	5.2	54.6	17.3
							1350	15.5	398	15.5	0.26	99.2	0.2	0.4	50.6	11.7
Brazil*	66.73	0.80	2.00	0.48	tr	97.6	1200	12.6	69	18.5	0.16	93.7	4.6	1.5	45.4	29.0**
							1350	12.5	184	14.3	0.18	94.2	5.2	0.6	43.8	5.5

\* ベントナイト 1% 添加

\*\* 還元後ペレットはかなり粘着性をおびて、数個づつくつき合っていた。

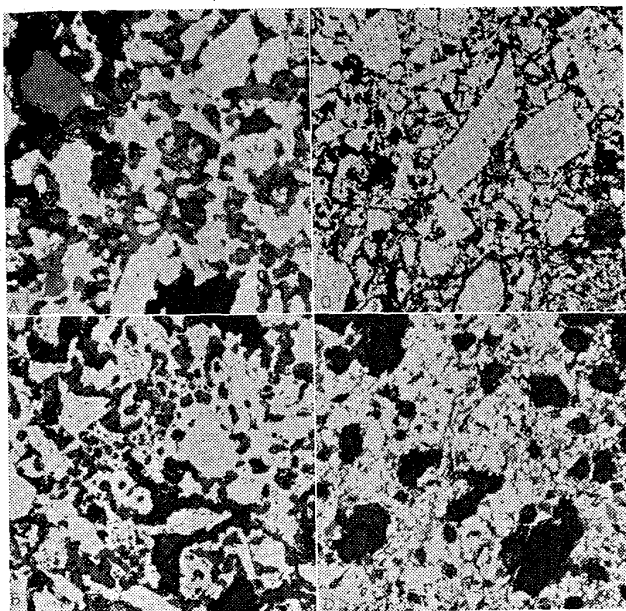
Table 2. Properties of raw materials.

Remarks	Kind of raw materials	Chemical composition (%)					Particle size (-44 $\mu$ %)
		T.Fe	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	
Jedway	Jedway	61.77	25.48	5.81	1.13	4.36	64.3
Mozaan	Mozaan	59.60	23.32	15.54	0.48	0.76	59.0
J.R.G.	Jedway 1/3, Rompin 1/3, Goa SK 1/3	62.69	10.80	3.58	2.07	1.49	64.3
B.R.G.	Brazil 1/3, Rompin 1/3, Goa SK 1/3	64.90	2.50	1.88	2.01	0.10	51.7
MX-7	Goa SK 40%, Brazil 20%, Rompin 10% Sannicolas 0.5%, Ironstone 15%	62.94	7.57	2.89	2.19	0.37	51.7

Table 3. Results of test operations.

Remarks	Induration temp. (°C)	Dia (mm)	Crushing strength (kg)	Porosity (%)	FeO (%)	Tumbling test of products. (mm)		Reduction test (GAKUSHIN)			Compression-Reduction test <sup>3)</sup>				
						+0.5	+5	Reduction ratio (%)	Tumbling test after Rd test (mm)		Particle size after Rd test (mm)			Reduction ratio (%)	Shrinkage ratio (%)
						+1	+3		>10	10~1.2	1.2>				
Jedway	1265	13.9	596	20.39	2.30	97.4	97.0	75.7	98.96	98.84	95.1	4.4	0.5	57.2	6.7
	1300	13.8	696	17.64	1.95	98.2	98.0	73.9	99.28	99.20	97.8	1.8	0.4	40.8	3.1
Mozaan	1300	13.8	390	15.91	0.90	97.7	97.9	62.2	98.83	98.97	99.9	0.1	tr	61.3	7.2
J.R.G.	1350	13.4	478	13.21	0.37	98.8	98.4	74.4	98.81	98.99	94.7	4.9	0.4	35.3	6.9
B.R.G-1	1330	14.0	231	22.74	0.87	94.3	92.5	63.2	98.40	98.32	93.5	5.7	0.8	52.7	13.0
	1360	14.4	285	21.75	1.16	94.6	93.7	60.3	98.96	98.84	94.1	4.8	1.1	47.8	11.0
B.R.G-2*	1335	14.6	323	20.82	1.04	94.4	93.8	73.4	98.80	98.76	95.6	3.9	0.5	64.6	7.0
	1350	14.5	356	18.97	0.96	94.3	94.0	72.8	99.12	99.24	95.8	3.7	0.5	48.0	7.5
MX-7	1350	14.8	377	17.72	1.58	97.2	96.8	76.6	99.23	99.38	94.4	5.1	0.5	51.5	6.4
Marcona	—	14.2	212	27.10	0.09	93.4	93.2	80.7	84.72	83.68	90.5	6.7	2.8	52.4	15.4
Erie	—	11.3 ~13.0	156 ~288	18.76	0.27	92.1 ~97.3	—	83.4 ~74.2	98.28	98.24	88.8 ~89.5	10.8 ~9.0	0.4 ~0.5	50.8 ~47.3	7.2 ~5.4

\* Using a auxiliary burner.



A: BRG-1, B: BRG-2, C: MX-7, D: J.R.G  
Photo. 2. Microstructure of various pellet.  
×100 (1/2)

トの FeO 含有量もわずかに増加するが、高炉での使用に堪えるものと考えられる。

### III. 試験工場における操業結果

以上の基礎試験結果からヘマタイトを含む各種の鉱石を原料として高炉用ペレットを製造しうる見通しを得たので試験工場にて操業試験を行なった。

対象とした原料は Table 2 に示したようにマグネタイトからヘマタイトまでの広範囲にわたっている。いずれの場合もベントナイトを 0.5% 添加した。

試験に当つては各原料とも粉碎—脱水—造粒—焼成と一貫した操業を約 2 昼夜続けた。

これらの試験結果を Table 3 に示す。なお当所で入手した Marcona と Erie ペレットの試験値も参考のため表示した。また Jedway と B·R·G-1 ペレットでは焼成条件を変化せしめその影響を調べた。

Table 3 の試験結果から B·R·G-1 ペレットを除けば圧潰強度、FeO、成品の回転強度、還元試験（学振法）後の試料の回転強度、圧縮—還元試験における還元率、試験後試料の粒度分布および圧縮率などは、参考値として示した Marcona, Erie ペレットと同等か、またはそれ以上の値が得られた。ここで B·R·G-1 ペレットは補助バーナーを使用していないため熱量不足となり、十分焼成されなかつたため、同一原料の補助バーナーを使用した B·R·G-2 ペレットに比べ各特性値とも向上を示している。

Photo. 2 にヘマタイトを主原料とする 4 種類のペレットの顕微鏡組織を示したが、いずれも良好な結合状態を示している。

このようにマグネタイトから多少褐鉄鉱を含有するといわれる南方系赤鉄鉱まで、いかなる鉱石においても適当な操業条件を見出せば高炉用ペレットが得られることが判明した。

なお、この試験操業においても焼成温度の影響を調べ

るために 2, 3 の実験を行なつたが Table 3 に見られるように焼成温度の上昇によつて圧潰強度は上昇し、空隙率と両還元試験における還元率などは低下している。

還元試験（学振法）と圧縮—還元試験における還元率は、ペレットによりかなり傾向が異なつている。これは還元ガスは同じであるが温度、還元時間が異なり前者が温度は 900°C 一定で 3hr、後者は 2kg/cm<sup>2</sup> の荷重を掛けながら 200°C から 1000°C まで 16min かけて昇温しているためである。

このように還元方法によりその傾向が異なつてくるので高炉装入物の評価方法としての還元試験法を確立するには今後かなりの検討が必要となる。

しかしながら以上の試験結果からマグネタイトから全ヘマタイト原料まで、いずれの原料においても焼成条件さえ注意すれば優良なペレットが製造されることがわかる。

### IV. 結 言

ペレットの製造試験として電気炉による Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のブリケットの焼成試験より、グレートキルン式試験工場 (20 t/day) の試験にわたり一貫した試験を行ない、あらゆる原料鉱石、特に全ヘマタイト原料についても焼成条件を注意すれば、工場規模で優良なペレットを製造しうることが判明した。

### 文 献

- 1) 佐々木, 岸高, 春, 小笠原: 鉄と鋼, 50(1964), 3, p. 325~327
- 2) 森永, 池野, 岩崎: 鉄と鋼, 50 (1964), 5, p. 743~752
- 3) 神戸製鋼所提出(高尾善一郎): 学術振興会第54委員会報告, No. 667
- 4) COOKE and BAND: Trans AIME 193 (1952) p. 1223~1230

## 鉄鉱石焼結鉱ペレットの膨脹荷重軟化および粉化について

住友金属工業, 中央技術研究所

工博 渡辺正次郎・○大竹 康元

Thermal Expansion, Softening and Degradation Behaviours of Ore, Sinter and Pellet.

Dr. Shojiro WATANABE and Yasumoto ÔTAKE.

### I. 緒 言

鉄鉱石、焼結鉱およびペレットの熱間における挙動に関し、第 1 報の熱間耐圧強度の測定りに引続き、還元気流中における膨脹、荷重軟化および粉化性について報告する。

### II. 実験試料および実験方法

使用した実験試料は鉄鉱石 4 種類、ペレット 3 種類、焼結鉱 2 種類の合計 9 種類である。

膨脹および荷重軟化試験は、充填層試料による荷重軟化試験装置 (Fig. 1) を使用し、膨脹試験では押棒の代りに外径 8mm の石英管を挿入してその膨脹を、荷重軟化試験は 1kg/cm<sup>2</sup>, 2kg/cm<sup>2</sup> および 5kg/cm<sup>2</sup> の