

第 2 会場 (製鉄基礎・高炉操業)

(41) 鉄鉱石の融点, 融着点の測定法

八幡製鉄, 技術研究所

工博 児玉惟孝・稲垣憲利・○肥田行博

八幡製鉄, 本社 高橋良輔

A Study on the Measurement of the Behaviour of Ore Burdens to the Melt Down in the Blast Furnace

Dr. Koretaka KODAMA, Noritoshi INAGAKI, Yukihiro HIDA and Ryosuke TAKAHASHI

1. 緒 言

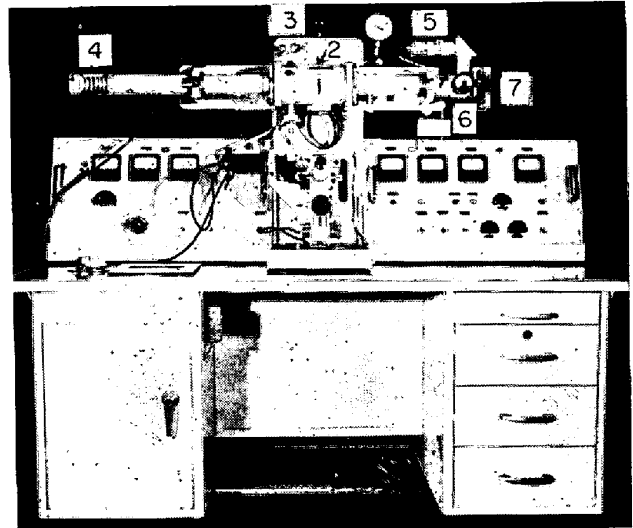
鉄鉱石の炉内性状のなかで, 還元性状ならびに熱間性状については多くの研究がなされている. そのほか重要な炉内性状として軟化性, 溶融性がある. 鉱石の軟化性, 溶融性は, 高炉の通気性, 付着物の成長, スラッグの生成, 炉内反応などと密接な関係にあり, 応用範囲は広い.

しかしながら, これらに関する研究は少ない. これは測定方法が難しく, 決定的な測定法が存在しないことによるところが大きい. J. WILLEMS ら¹⁾は試料を電気炉内で加熱し, 加熱過程における形状の変化を拡大鏡により観察し鉱石の性状を測定することを研究している. この方法は比較的能率良く, 再現性も良好と考えられるの

で, この方法について研究し, 高炉装入原料の融点および融着点の測定方法を確立した.

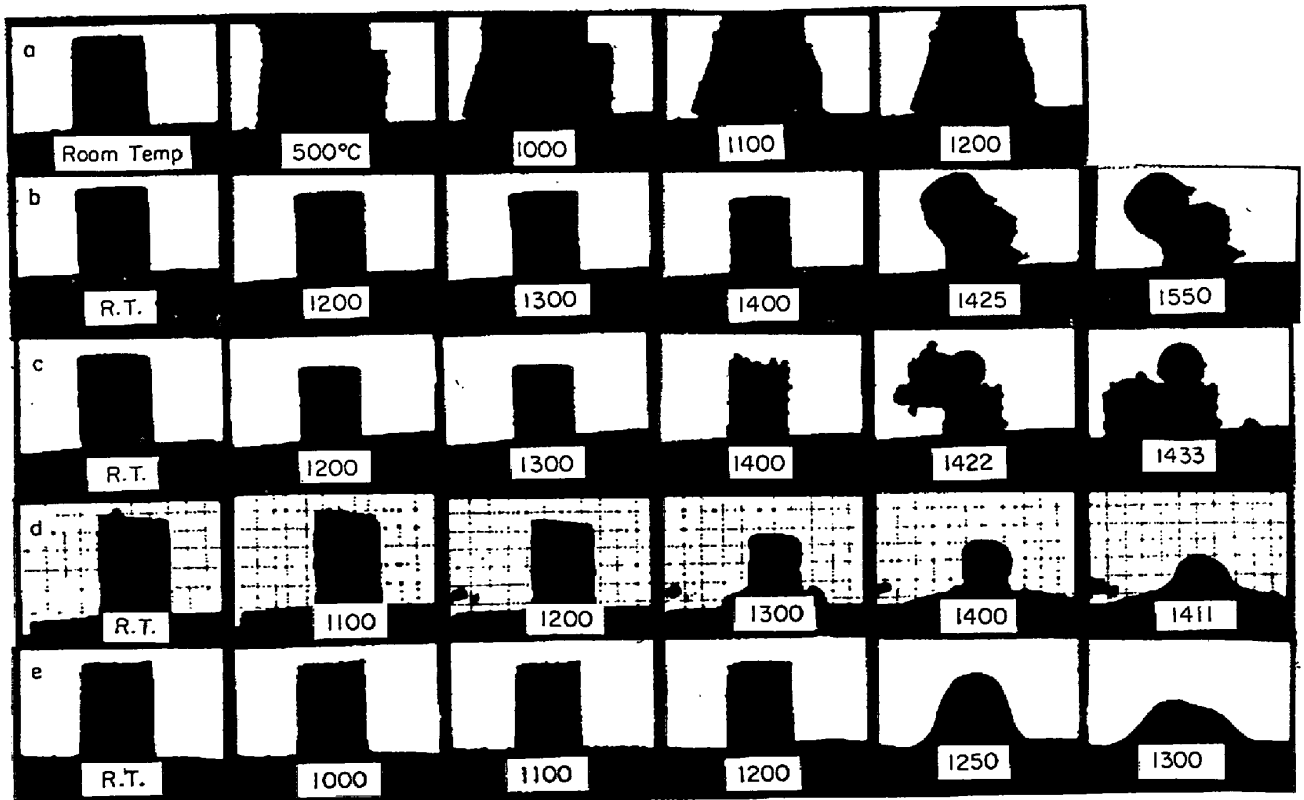
2. 実験方法

2.1 試料の作成



① electric furnace, ② gas inlet, ③ gas outlet, ④⑤ source of light, ⑥ measurement plate, ⑦ camera

Photo. 1. Experimental apparatus.



(a) Atm: 30% CO+70% N₂, heating rate: about 2°C/min, (b) Atm: Ar(RT~1000°C)CO+N₂(1000°C~), heating rate: 23°C/min
(c) Atm: 30% CO+70% N₂, heating rate: 23°C/min, (d) Atm: Ar, heating rate: 23°C/min
(e) 50% reduced sample, Atm: Ar, heating rate: 23°C/min

Photo. 2. Shapes of Goa (Dempo) samples on heating.

鉱石を 100 メッシュ以下に粉碎し、金型に充填して加圧成型する。試料の形状は 3 mm(高さ)×25 mm φ(径)の円筒状である。

2.2 実験装置および方法

装置を Photo. 1 に示した。写真中①は電気炉であり、発熱体は約 20 mm φ×65 mm の黒鉛管である。試料はの中に設置された受台 (10 mm×10 mm×1 mm) 上に置かれる。この炉には、ガス入口②、ガス出口③があり炉内雰囲気自由に変わることができる。④および⑤は光源である。⑥は試料の形状の変化を観察する測定窓であり、試料は 5 倍に拡大される。また肉眼観察と同時に⑦のカメラにより撮影が可能である。

3. 実験結果および考察

測定方法を確立するために雰囲気等を変え測定した。

3.1 還元雰囲気中における測定

還元ガスとしては高炉内に近似させるために CO: 30%, N₂: 70% の混合ガスを用いた。

3.1.1 温度上昇速度を高炉の状況に近似させた場合

当所では鉱石の還元時の性状を知る方法として、原料が高炉で受ける状態に近似した条件で行なう荷重軟化試験を採用している²⁾。まずこの昇温速度に一致させて実験を行なった。すなわち 200~1200°C までを 260 min で上昇した。この際の試料の変化の一例をゴア鉱石について Photo. 2-(a) に示した。写真にみるように、いちじるしい膨張が認められ、測定が不可能である。

3.1.2 昇温速度を速めた場合。さらに Ar ガスを併用した場合

昇温は後述する Fig. 1 の昇温曲線にほぼ一致させた。すなわち 1500°C までを 40 min で昇温した。この際の変化を、例えば、ゴア鉱石の Photo. 2-(c) でみると、1422°C で Fe が分離し球状となつている。このため、還元を遅らせ Fe の分離を押えることを試みた。すなわち 1000°C (または 1150°C) まで Ar 気流中で昇温しその後還元ガスに切りかえた。この結果を Photo. 2-(b) に示した。この場合も、Fe は分離し球状となる。

以上のように還元雰囲気中では試料の異常変形、鉄の分離が生ずるために、単に試料の形状変化により融点等を決定することが難しい。

3.2 中性雰囲気中における測定

還元あるいは酸化等の諸因子の影響を除き鉱石そのものの性状を調査することを考え、中性雰囲気を用いた。

真空中においても測定を繰返したが、良好な結果が得られなかつた。

Ar 気流を用いた場合、良好な結果が得られたので、以下に述べる。

昇温速度は検討の結果、Fig. 1 に示すものに決定した。試料受台についても検討の

結果、Pt 板を使用することにした。

加熱時における試料の高さの伸縮状況の 1 例を Fig. 1 に示した。Photo. 2-(d) にゴア鉱石試料の形状変化を示した。図および写真にみるように、温度が上昇するにつれて、試料の高さは漸次低下し、最後には原型を留めなくなる。

このような状態ではいかなる温度を、軟化点あるいは融点と呼ぶべきか明確でない。そこで、試料を所定の温度まで昇温した後冷却し、組織を顕微鏡により観察した。この結果の 1 例を Photo. 3 に示した。

この組織と先の伸縮率 (Fig. 1) の関係を調べたところ、ある一定の法則を見出した。すなわち収縮のごく初

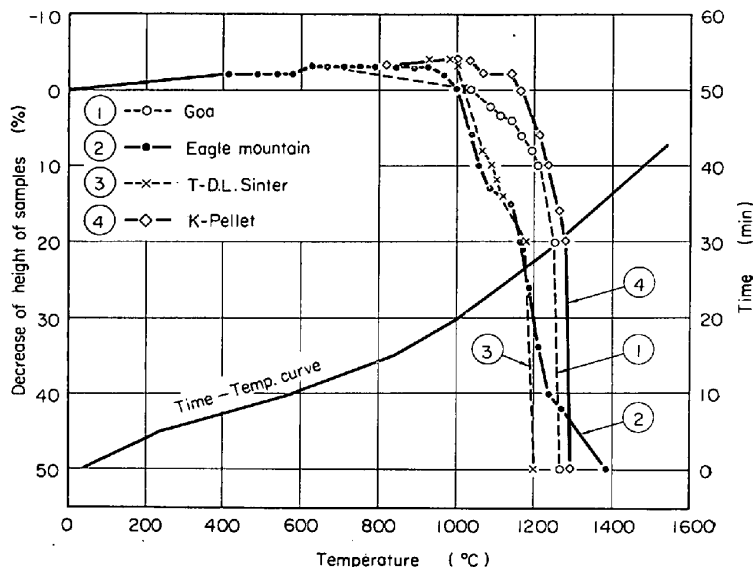
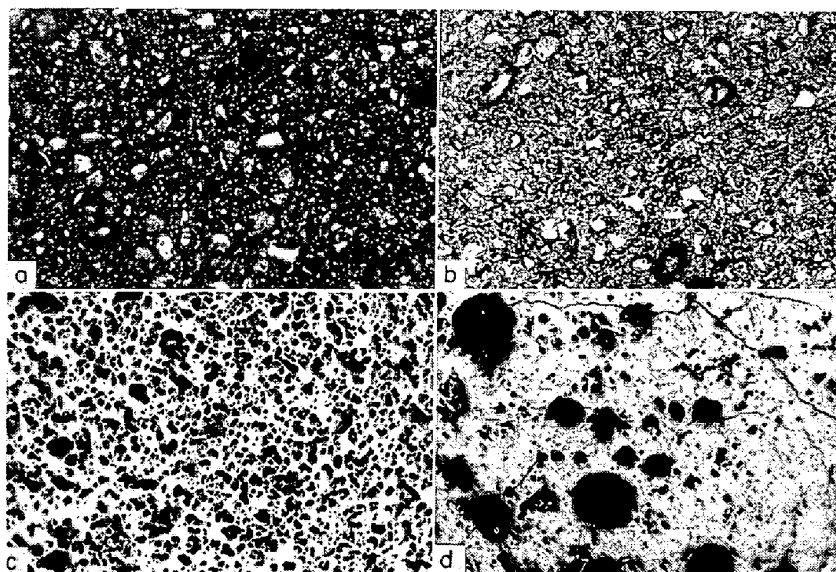


Fig. 1. Time-temperature curve and change of height of samples with temperature.



(a) Original sample, (b) 1150°C, (c) 1273°C (height decrease 10%)
(d) 1390°C (height decrease 50%)
10% height decrease: fusible point 50% height decrease: melting point
×100(4/7)

Photo. 3. Microscopic change of Goa samples on heating in Ar gas atmosphere.

Table 1. Sintering and fusing point, melting point and chemical components of ores.

	$T_{s,f}$ (°C)	T_m (°C)	Chemical analysis (%)						
			T. Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn
Goa (Dempo)	1273	1391	58.55	0.72	2.42	5.71	0.12	0.09	0.42
Ipoh	1230	1310	60.72	0.43	1.30	5.29	0.11	0.09	1.15
Kedah	1230	1248	57.64	5.05	10.62	3.04	0.13	0.06	0.09
Adrianitas	1318	1330	62.55	15.35	5.18	1.11	1.17	0.90	0.08
Santa Barbara	1100	1330	64.44	10.43	2.25	1.19	0.65	1.68	0.05
Eagle mountain	1335	1392	61.17	11.00	6.47	0.94	0.87	3.21	0.08
Swaziland	1250	1358	64.09	0.72	4.43	2.04	0.11	0.08	0.24
Kiri-Buru	1270	1280	62.66	1.33	1.37	3.02	0.15	0.20	0.08
Rompin	1250	1273	61.75	2.96	3.15	2.30	0.07	0.35	0.30
Acari	1200	1266	63.63	15.35	5.27	0.76	1.71	1.12	0.03
Nevada	1200	1219	60.36	3.14	4.38	0.48	3.49	0.44	0.04
Dha sara	1203	1230	59.30	1.16	10.29	1.79	0.07	0.25	0.11
Romerall	1260	1280	64.28	18.54	4.79	0.80	1.47	0.97	0.08
Dungun	1050	1215	62.10	5.51	3.31	2.60	0.34	0.20	0.11
Robe river	1206	1228	61.59	0.93	3.16	1.04	2.24	0.16	0.099

$T_{s,f}$: Sintering and fusing point T_m : Melting point

期においては各粒子は分離し原試料とほとんど変化がない。10% 収縮した試料では、粒子は集合し互に焼結し溶融を開始している。この状態を融着と呼ぶことにする。しかし溶融ははまだ不完全で原鉱の組織が若干残存している。さらに 50% 収縮した試料では、まったく一体となり溶融が完了している。

よって鉱石の軟化性、溶融性を次のように定義する。

融着点……試料の高さが 10% 収縮した時の温度

融点…… " 50% "

この測定方法により測定した各種鉄鉱石の融点、融着点を Table 1 に示した。

表に見るように、融点、融着点は鉱石中の脈石とは特に関係がないようである。

3.3 還元試料の融点、融着点の測定

鉱石の融点の測定法を上記のように考案したが、高炉内のような還元段階にある試料については知ることができない。そこで、あらかじめ別の炉で所定の還元率にまで還元し、粉碎、成型して試料とすることを考えた。

この際の形状変化の 1 例を Photo. 2-(e) に示した。異常な変形は起こらず、測定が可能である。今後、炉内測定が進み、高炉各レベルでの温度、鉱石の還元率、浸炭の推定が容易となれば、鉱石の還元率-融点-融着点曲線より高炉の溶解帯、スラグ生成開始帯、付着物の成長レベルの推定はたやすいものと考えられる。

上記の方法により得た、鉱石の還元率と融点、融着点の関係の 1 例を Fig. 2 に示した。この図より明らかに、融点、融着点は還元過程での FeO の変化あるいは金属鉄の生成と大いに関係があるものと考えられる。

4. 結 言

鉄鉱石の軟化性、溶融性の測定法を研究し、次の結論を得た。

(1) 鉄鉱石の軟化性、溶融性は試料を Ar 気流中で加熱しつつ、その高さを観測することにより測定しうる。

(2) 試料の収縮率と組織との関係を検討し、軟化性

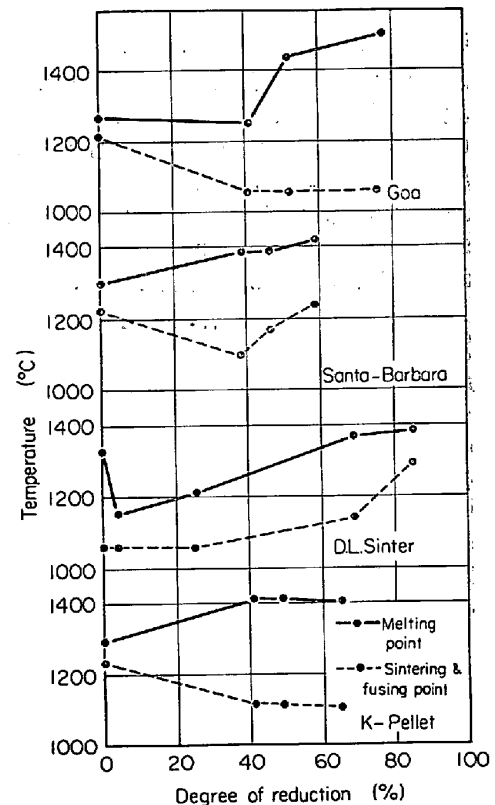


Fig. 2. Properties of ores (melting point or sintering and fusing point) during reduction.

を代表するものとして融着点、溶融性を表示するものとして融点を次のように定義した。

融着点……試料の高さが 10% 収縮した時の温度

融点…… " 50% "

(3) 真空中、(CO+N₂) 還元気流中での測定は難しい。

(4) 鉱石の還元過程における融点を測定するには、次のような方法をとるとよい。すなわち鉄鉱石を別の炉

であらかじめ還元し、粉碎、成型して試料とする。この試料を Ar 気流中にて測定する。

文 献

- 1) J. WILLEMS, P. DICKENS and W von dem ESCHÉ : Stahl u. Eisen, 76 (1956) 1, Nov. p. 1404
- 2) 児玉, 堀尾, 稲垣, 高橋: 鉄と鋼, 52 (1966) 9, p. 1353

(44) 高炉送風流量の高精度計測制御

神戸製鋼, 尼崎工場

藤井成美・○林 正照・斎藤正次

High Accuracy Measurement and Control of Blast Volume

Shigeyoshi FUJII, Masateru HAYASHI and Masaji SARTO

1. 緒 言

高炉の出鉄量を増大し、成品品質を向上させる方式として原料の成分、性状の均質化と操業条件の高度な安定化はその最も重要な要素である。当尼崎工場ではその一端として送風量の高精度計測制御に着目し、その実現に努力して来た。

従来流量計の精度は検出部を含めて総合して 2~3% が普通とされ、特に高炉送風量のように圧力、温度の変化する場合にはその影響を含めると数%に達しても止むを得ないものとされて来た^{1)~3)}。

この誤差の内容とその影響を検討し、また高炉は連続操業であることを考慮して、流量計の絶対誤差としてのオリフィス誤差は除外し、その他使用中に変動し得る流量計の総合誤差を製作可能限界の ±0.5% 以下にできる圧力温度補正付流量計の設置を決定した。設置の前後について操業実績の比較を行ない、新流量計の設置効果を確認した。

2. 高炉送風流量補正方式

尼崎工場の高炉稼働開始後採用した高炉送風流量の計測制御方式は次の 3 方式で、その得失について述べる。

2.1 送風機出口側分流管式流量検出方式 (1953~1960 年)

Fig. 1 の本管オリフィス O_1 と分流管高圧オリフィス O_2 の差圧が等しくなるよう分流調節弁 V で加減し、V 以後に取り付けたオリフィス O_3 を通過して大気に放出する。 O_3 の差圧から補正流量 q_n を計測することができる。

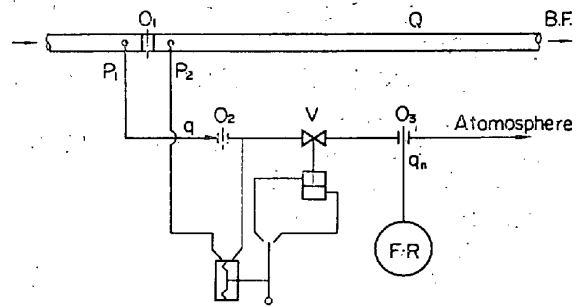
この方式の特徴は

- (i) 補正演算器、圧力温度発信変換器が不要である。
- (ii) 回路が純機械的で簡単機械的故障が少ない。

欠点は

- (i) 分流管のオリフィス管径小さく、塵埃誤差、および
- (ii) 粘度、粗面度係数による誤差……………±1~2%
- (iii) 大気温度変動による誤差……………±2~3%
- (iv) オリフィス O_1 ・ O_2 ・ O_3 累積誤差……………±3.5%

などがあり精度向上は期待できない。



$$Q = K \sqrt{\Delta P} \quad q = k \sqrt{\Delta P} \quad Q = \frac{K}{k} q = q_n$$

Q, Blast flowrate, q, Proportional flow rate, O_1 , Orifice of main pipe, O_2 , Orifice of branch pipe, O_3 , Orifice of branch pipe, V, Control valve, q_n , Corrected flow rate, K, k, Const, ΔP , Differential press.

Fig. 1. Principle of blanch orifice system.

2.2 送風機入口側流量検出方式 (1961~1965 年)

送風機入口圧の変動は -2~3 mmH₂O で、流量への影響は無視できる。しかし気温は 6 deg あたり、±1% の流量変化に相当し、年間気温変化 ±20 deg, 日間気温変化 ±10 deg はおのおの ±3.3%, ±1.6% になる。

この方式の特徴は

- (i) 1 日の気温変化を無視すると最も簡素化され、計測の信頼性も高い。

- (ii) 補正演算回路は簡単である。

欠点は

- (i) 送風量の漏風があれば真風量不明。
 - (ii) オリフィス必要直管長確保困難。
 - (iii) 送風機切換ごとに計測器の切換えが必要。
- などのことがあり、送風量の高精度計測制御は困難である。

2.3 送風機出口側圧力温度補正付流量検出方式 (1966~)

送風機出口側の圧力、温度の年間平均変動率は 1965 年の実績では Table 1 のとおり各 $\sigma_P=6\%$, $\sigma_T=4\%$ であつた。この圧力温度補正方式の特徴は

- (i) 高炉への実際送風量が判り、
- (ii) 送風機運転の指針となる。

欠点は

- (i) 圧力、温度補正用発信変換器、演算器が必要で高価となり、
- (ii) 回路は複雑で総合精度は普通 2~3% になる。

3. 採用圧力・温度補正付流量計の精度 (1966 年 5 月~)

高炉操業の安定性を表示する一指針として、毎日の装入回数と鉄中の Si% の変動率があげられる。1966 年

Table 1. Annual blast variation of press. and temp. ('65).

Period	Cond. Press. (kg/cm ²)		Temp. (°C)	
	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
Annual	1.09	0.08	106.4	9.5
July	1.05	0.06	121.0	4.2
Jan.	1.10	0.07	92.6	5.2