

## (討6) 鉄鉱石類の高温性状試験について

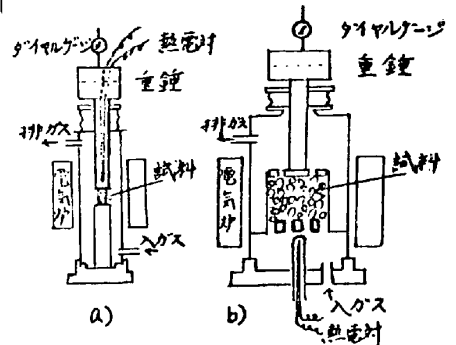
日本学術振興会製鉄第54委員会物理測定小委員会

三本木貞治, 大森康男, 浅田 実  
安達春雄, 高橋愛和

1. 緒言 鉄鉱石類の膨脹, 収縮, 軟化は溶鉱炉内の通気抵抗と密接な関係にあるものと考えられ, 荷重還元軟化試験は溶鉱炉装入物の評価に対して重要な試験である。

現在各所において実施されている荷重還元軟化試験法には二通りの方法があり, その一つは第1図a)に示すごとく1個の鉄石を特定の形状に成形したものを試験料とし, これに荷重を加えながら加熱還元し, 試験料の膨脹, 収縮量を測定する方法で, 他の一つは第1図b)に示すごとく, 一定重量の鉄石を反応管内に充填し上部に荷重を加えながら加熱還元し, 充填層の高さの変化およびガス圧の変化を測定する方法である。前者は鉄石個々の還元による荷重軟化の測定を目的とし, 後者は鉄石充填層の軟化, すなわち溶鉱炉内における通気性と対称とした試験方法である。

従来の報告によれば, 鉄鉱石類の軟化は鉄石の種類により異なり, また焼結鉄では塩基度および荷重量とも密接な関係がある。さらに反応管による鉄石充填層の軟化では充填密度, 充填層の高さ等の物理的条件によっても変化するようである。したがって鉄鉱石類の荷重還元軟化試験方法を統一する必要がある。本報告は高温還元過程の膨脹, 収縮, 軟化の試験および学振還元試験に類似した鉄鉱石類の充填層を加重下にて還元した場合の粉化, 軟化によるガス圧変化の測定に関する試験法および試験結果を, 主として学振製鉄54委の本委員会, 物理測定小委員会, 同在京委員会および鉄と鋼に報告された資料および論文より取りまとめたものである。本テーマについては古くよりの報告もあるが, こゝでは主に最近のもの(昭和37年以降)に限定し, 以下の項目についてまとめたものである。



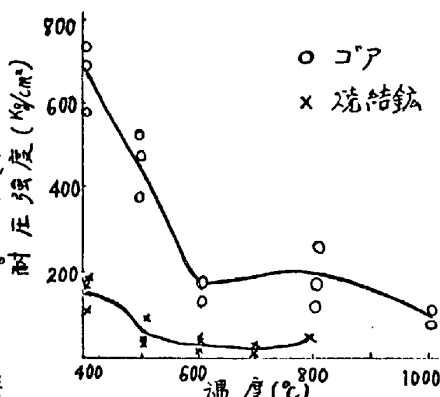
第1図 荷重還元軟化試験装置

- 1) 赤鉄鉱, 磁鉄鉱, 焼結鉄, ペレットの特徴。
- 2) 温度(軟化点, 軟化開始点, 収縮点, 溶融開始点等), 収縮および膨脹量, ガス圧の変化の意味と採用している数値の検討。
- 3) ガス圧変化の原因の把握。
- 4) 従来の報告より, 高温還元軟化試験法の統一法の一例。

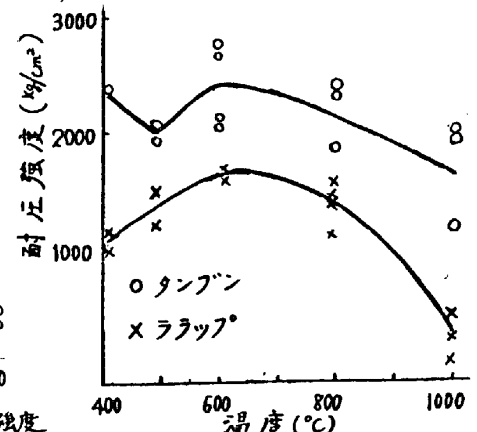
## 2. まとめ

1) 鉄鉱石, 焼結鉄, ペレットの特徴について 鉄鉱石の熱間強度に関しては第2図のごとく, 還元雰囲気中では気孔率, 脈石成分の違いから生ずる還元性の相違により, 各鉄石とも温度上昇にともなう強度変化に特徴を有しているが, 赤鉄鉱, 磁鉄鉱ともに還元率の増大にともなう強度が劣化している。

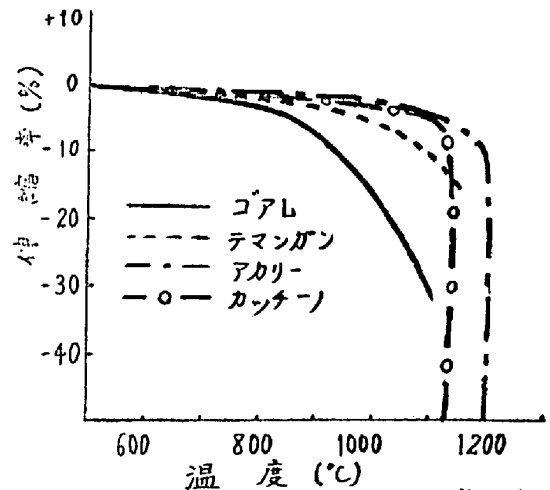
一方, 鉄鉱石の軟化性に関しては第3図のごとく, 熱膨脹, 脈石成分とくに $\text{SiO}_2$ 分, 還元性等と密接な関係があり, 鉄鉱石の軟化は



第2図 鉄鉱石類の還元雰囲気中熱間耐圧強度

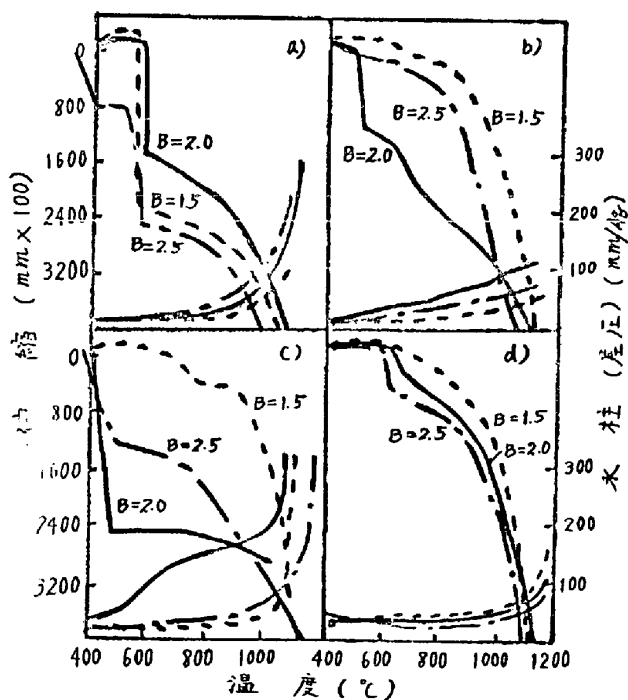


一般にある一定温度に達するまで膨脹し、その温度を過ぎると軟化を開始することが認められているが、その温度、膨脹量は鉱石種、銘柄により著しく変化している。赤鉄鉱と磁鉄鉱と比較すれば、赤鉄鉱(褐鉄鉱を含む)は還元性良好で軟化開始温度は比較的低温で軟化速度は緩慢である。一方磁鉄鉱の軟化開始温度は比較的高く軟化速度は急激である。この両者の差は鉱石中の  $\text{SiO}_2$  分と還元性によるもので、磁鉄鉱は  $\text{SiO}_2$  と反応してファイアライトの形成を助長するが、赤鉄鉱では還元により生成するウスタイトと  $\text{SiO}_2$  の反応以前に結晶粒界にあすかの Slagging が起り、その Slag の組成と粘性が昇温にしたがって変化するために軟化速度が緩慢であらうということが報告されている。

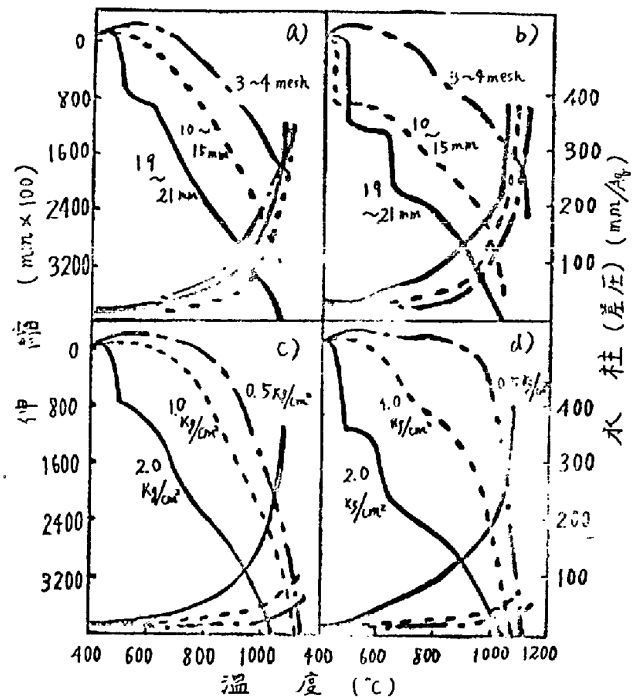


第3図 鉄鉱石類の荷重還元軟化試験結果

焼結鉄の強度には塩基度、粒度、コークス添加量、還元性、気孔率、酸化度および荷重量等により種の値をとるが、一般的には軟化開始温度が比較的高く軟化速度は急激であることが知られている。すなわち焼結鉄はあらかじめ生成過程と経た Slag Bond の軟化のため軟化速度は急激であるといわれている。また軟化度と還元性、気孔率、酸化度との間には負の相関、シャッター強度の間には正の相関が報告されており、これから焼結鉄のシャッター強度の測定が還元強度を推定する上で有効な手段となるであろう。



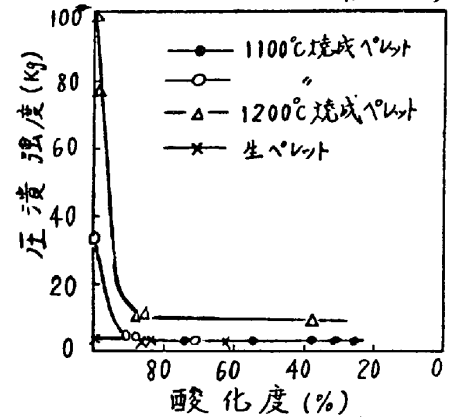
第4図 焼結鉄の軟化開始温度とコークス量、荷重量、塩基度の関係  
a) Coke 4% 軟化曲線, 荷重  $2 \text{ kg/cm}^2$   
b) Coke 4% 軟化曲線, 荷重  $0.5 \text{ kg/cm}^2$   
c) Coke 6% 軟化曲線, 荷重  $2 \text{ kg/cm}^2$   
d) Coke 6% 軟化曲線, 荷重  $0.5 \text{ kg/cm}^2$



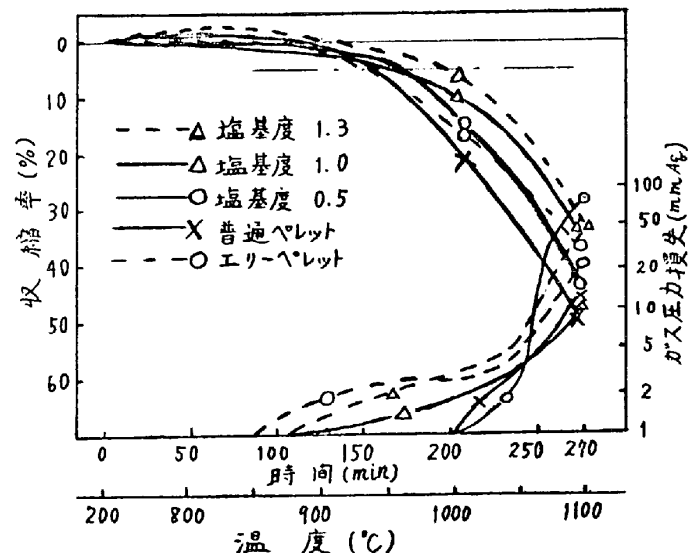
第5図 焼結鉄の軟化開始温度と粒度、荷重量の関係  
a) 高塩基度焼結鉄の各粒度における軟化曲線  
荷重 =  $2 \text{ kg/cm}^2$ ,  $B = 1.83$   
b) 低塩基度焼結鉄の各粒度における軟化曲線  
荷重 =  $2 \text{ kg/cm}^2$ ,  $B = 1.30$   
c) 高塩基度焼結鉄の荷重の変化による軟化曲線  
粒度 =  $19 \sim 21 \text{ mm}$ ,  $B = 1.83$   
d) 低塩基度焼結鉄の荷重の変化による軟化曲線  
粒度 =  $19 \sim 21 \text{ mm}$ ,  $B = 1.30$

第5図 焼結鉄の軟化開始温度と粒度、荷重量の関係

う。さらに塩基度、粒度、コークス添加量、荷重量によりその挙動がそれぞれ異なり、第4図に示すごとく軟化開始温度はその最低点で低荷重の場合、塩基度が2.0附近であるが、高荷重の場合には塩基度1.5附近で、これはコークス添加量の増加とともに塩基度の高い方へ移動する。また第5図に示すごとく同一塩基度においても粒度が小さくなるほど、あるいは荷重が小さくなるほど還元粉化は少なくなる傾向を示している。さて石灰焼結鉱を高塩基度と低塩基度と比較すると、高塩基度焼結鉱では粒度が大きくても還元粉化の度合いが少ないため、供試試料の粒度が小さいほどガス圧上昇は早く起る。すなわちガス圧上昇は供試試料粒度の大きい方が遅い。しかし低塩基度焼結鉱の場合は、粒度が大きい場合には著るしく粉化が起り、ガス圧上昇度合も粒度が大きいほどかえって早くガス圧が上昇する。



一方ペレットについては報告も少なく銘柄も限定されており、焼結鉱と対比するのは尙早であるが、二、三の報告によればペレットの強度は焼成温度および塩基度に支配されているようで、第6図のペレットの強度と焼成温度の関係



第7図 ペレットの荷重還元試験結果

第1表 鉄鉱石類の軟化開始温度

| 鉄 石    | 軟化開始温度(℃) | 鉄 石       | 軟化開始温度(℃) |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| グ ア B  | 1100      | イーグルマウンテン | 1290      |
| コニックス  | 1150      | ローブリバー    | 1290      |
| アカリー   | 1060      | サンタフェア    | 1040      |
| マンガニ鉄石 | 1110      | 田 鉄       | 950       |
| 子 炉 滓  | 1110      | 一次マルコナP   | 1200      |
| 石 灰 石  | 960       | タコナイトP    | 1080      |
| コークス   | 1160で軟化せず | 焼 結 鉄     | (1040)    |
| テマンガ   | 880       |           |           |
| ゴ ア L  | 760       |           |           |
| タンアン   | 940       |           |           |
| ブラジル   | 880       |           |           |
| カッターノ  | 1050      |           |           |

6図のごとくペレットの強度は還元の進行とともに激減するが、焼成温度1200℃以上のペレットでは還元強度が8kg程度維持できるもようであり、高炉内の必要強度が4kg程度であるということと考えあわせれば、焼成温度は1200℃以上が必要であると考えられる。したがって高炉の操業上、焼結鉱に相当する強度をもたせるべく焼成温度と上昇させれば、その特徴とする被還元性の低下は避けえないものがあるので、現在の時英で焼結鉱とペレットの対比は必ずしも当とえたものではない。また石灰ペレットにおいては第7図のごとく収縮開始温度は塩基度と密接な関係があり、石灰ペレットの荷重還元強度は塩基度の上昇とともに上昇し、とくに収縮開始温度(5%収縮温度で示す)には明りように現われている。

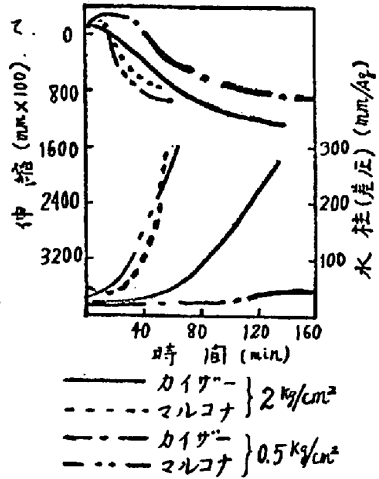
以上は高温における鉄鉱石類の挙動についてであるが、とくに低温領域における挙動を示せばつぎのごとくである。すなわち赤鉄鉱系鉄石においては、含有する褐鉄鉱の量に支配されるが、500℃附近で強度は低下し、その後700℃附近で強度が増大する。これは500℃附近における結晶水の逸脱、炭素析出、ヘマタイト→マグネタイトの変化のために強度が低下したもので、700℃附近では生成したマグネタイト粒子が成長し強度が増大す

るようである。磁鉄鉱では温度上昇にともないマグネタイト粒子が成長し700°C附近まで強度は増大している。一方焼結鉄、ペレットでは気孔率の影響が大きく、とくに焼結鉄は大気孔が存在するため、温度の上昇にともないその強度はかなり低下する。いずれにしてもこのような塊状化鉄石においてはクラックの発生のため強度は著しく低下することが報告されている。

なお鉄鉱石、焼結鉄、ペレットの軟化開始温度を一括すれば第1表のごとくである。(なお焼結鉄、ペレットについては気孔率、塩基度等多くの因子によりその値が異なるため参考までに掲げたものである。)

2) 軟化性状を把握する場合の温度、収縮、膨脹、ガス圧変化について。

荷重還元軟化の測定法としては、(1)軟化曲線を図示する方法、(2)一定収縮率より軟化開始温度を測定する方法、(3)ガスの一定差圧により指示する方法の三つの方法が採用されている。



第8図 充填層による軟化試験結果

(1)は第3図において示したごとく、たて軸に膨脹、収縮を、横軸に温度をとり軟化曲線を図示し、その曲線の折点より各鉄石の軟化開始温度と測定するものであるが、焼結鉄のごとく塩基度、コークス添加量、粒度等種々の因子により軟化曲線が変化し、必ずしも軟化曲線の折点が明瞭でなくなる。したがって焼結鉄の場合には、温度の上昇につれてある程度まで試料層が膨脹し、ある時点で急激に収縮するものについては還元粉化、またゆるやかな曲線で下降を始める(収縮する)時点を軟化現象と考える。(2)の一定収縮率については、5%、15%、20%がとられて

おりたて軸に収縮量、横軸に温度をとった軟化曲線より上述の一定収縮率の温度を測定し軟化開始温度としている(第7図参照)。(3)については反応管内に充填した試料の還元過程におけるガス圧変化から測定するもので一例を示せば第8図のごとく反応管径50mm、装入量200g、還元温度900°C一定の場合の限界差圧(300mmHg)に達する時間を測定するものである。

3) ガス圧変化の原因の把握 高炉装入物の通気性と軟化、粉化とは密接な関係にあり、還元時のガス圧上昇がどのような原因によるものか(粉化が軟化か)を調査した結果、(1)原料が粉化して粒間をふさいでいる場合と、(2)原料が軟化し、上より押えつけられてつぶれて粒間がふさがれている場合とがあり、(1)の場合には団鉄、焼結鉄、(2)の場合にはマルコナペレット、タコナイトペレット、ゴア、ローブリバー、ケダー鉄石が報告されている。

以上の報告から粉化、軟化の測定法として考えられることは、鉄鉱石類の原料としての評価に重点をおく試験方法と高炉操業に重点をおく試験方法の採用が考えられ、(1)荷重還元軟化試験と、(2)学振還元装置による還元試験後の試料の肉眼判定の両方法を併用することが望ましいと考える。すなわち、ガス圧変化と軟化曲線をプロットし、軟化曲線の形状より鉄石の軟化、粉化を測定し、同時に温度としては少なくとも3水準をとる定温還元(あるいは昇温還元)により、還元過程で一定ガス圧に到達後試料を冷却し、その時のガス圧変化の原因を試料の状況を肉眼により判定するものである。

4) 高温還元軟化試験法の統一の一例 従来の報告より測定条件を一括すればつぎのごとくである。

#### 1) 単一試料の試験法

昇温速度 5°C/min 雰囲気 CO 30%, N<sub>2</sub> 70% 5 l/min (試料により 15 l/min)  
荷重 2 kg/cm<sup>2</sup> (0.5, 1.0 kg/cm<sup>2</sup>) 粒度 20 mm角 (あるいは 5, 15 mm角)

#### 2) 充填層による試験法

昇温速度 5°C/min 雰囲気 CO 30%, N<sub>2</sub> 70% 15 l/min (5 l/min)  
荷重 2 kg/cm<sup>2</sup> (0.5, 1.0 kg/cm<sup>2</sup>) 粒度 15 mm (10, 20 mm) 充填層 500 g (200, 1,000 g)

文献: 三本木, 高橋, 安達, 森, 浅田. 学振54巻-1081, 学振54巻-1082 (1967, 10月)