

Table 1. Test methods on thermal properties of iron ores.

	Decrepiation test	Degradation test
Apparatus	Same as JIS M 8713, Method-1 (Method for determining reducibility of iron ore lumps)	Ditto
Sample size	20~25 mm	Ditto
Sample weight	500g	Ditto
Atmosphere	Air	Reducing gas (CO 30%, N ₂ 70%)
Gas flow	—	15Ml/min
Temperature	700°C	Ditto
Heating rate	Put rapidly a reaction vessel, which contains sample, into the furnace preheated to 700°C	5°C/min
Keeping time	30 min	Ditto
Cooling rate	Air cooling	Cooling in N ₂ gas
Screen	10, 5, 3, 1 mm	Ditto
Chemical analysis	—	Deposited carbon
Repetition	2 times	Ditto

Other items: Other items not mentioned above should be consulted in JIS M 8713 (1966)

2. 堅硬性
3. 構造的性
4. 結晶粒度
5. 構成鉱物
6. Lineation の有無
7. 色調, 光沢
8. 品位
9. その他 (風化程度など)

以上のような分類にしたがつてわけた試料について試験を行ない、粉化が検出されたタイプと鉱床の産出状況とを結びつけてその対策をたてようというのがこの分科会の1つの目標であるが、その他、入荷した鉱石についても鉱床における位置が不明であつても、タイプ別によつてどのような特性を示すものであるかを調査していくことになつた。

このような方針に基づいて、ISO の物理試験専門委員会が提案した方法による共同実験がブラジルのイタピラ鉱石についてタイプ別に行なわれた。5月17日の分科会には各社の試験担当者も参加して実験結果の検討が行なわれた。この時、試験条件についてもさらに検討され、熱間特性に関する試験条件は Table 1 のように改定された。

この方法で共同実験は進められ、現在までに行なわれた銘柄は新規開発鉱山のもの以外に既存銘柄も含め、20数種におよんでいる。

粉化の原因究明については各社の研究所でそれぞれの立場から研究されているが、分科会としてはこの仕事は時間も要し、粉化現象の把握を作業の主目的としていることから東京大学の渡辺教授と今井教授にこの研究をお願いしている。

また、ブラジルのイタピラ鉱石については特性試験の結果特に粉化が著しいので、40年11月には原料委員会の渡辺局長を団長とした調査団を現地に派遣し、タイプ別に鉱石の賦存状況の実態が調査された。この時、現地では規定の試験方法が実施できないため、“熱割れ試験”の簡便法として石油パーナーとステンレス・パンを利用し、この方法でも一応の目安をつける上で大いに役立つことがわかり、その後、41年度のインド鉄鉱石調査団も

これを採用した。

以上、“鉄鉱石の熱間特性に関する試験方法”として現在業界で実施されている試験条件が制定されるまでの経緯と、その後の概況についてのべたが、今後も新規銘柄は勿論、山元の採掘が進行するに件つてこの試験を行ない、データの積み重ねが必要であろう。また分科会の作業目標の一つとしてあげられているように、高炉操業におよぼす熱間特性の影響についても種々調査は進められてはいるが、さらに定量的に把握し、究明してゆくの

(討-3) 鉄鉱石の熱間性状について

日本鋼管, 技術研究所

山田 幸夫・○小山達夫

A Study on Properties of Iron Ores at the Elevated Temperature

Yukio YAMADA and Tatsuo KOYAMA

1. 緒 言

鉄鉱石の熱間性状のいかんは高炉での使用に際して、操業成績に大きな影響をおよぼすことが認められ、これまでに各所において多くの鉄鉱石について熱割れや還元過程での性状試験が実施され、熱間における粉化の原因、機構や高炉操業への影響などについて、多くの研究^{1)~7)}が行なわれてきた。当所においても当社の高炉で使用している約30種類の鉄鉱石について、熱間性状を試験して粉化の程度に応じた分類を行ない、また熱割れの機構について検討したので、次に報告する。

2. 試験方法

鉄鉱石の熱間性状の測定には、縦型の電気炉よりなるJIS法の還元試験装置を使用した。その試験条件は次のごとくである。

(1) 熱割れ試験

試料: 500 g, 20±1 mm

雰囲気: 大気中

昇温条件: 700°Cに加熱した電気炉中へ反応管に入れた常温の試料を装入

加熱時間：790°C で 30 min 間保持し，その後反応管を炉外に取り出し，常温まで空冷
 篩分：+10 mm

(2) 還元試験および還元強度試験

試料：500 g；20±1 mm

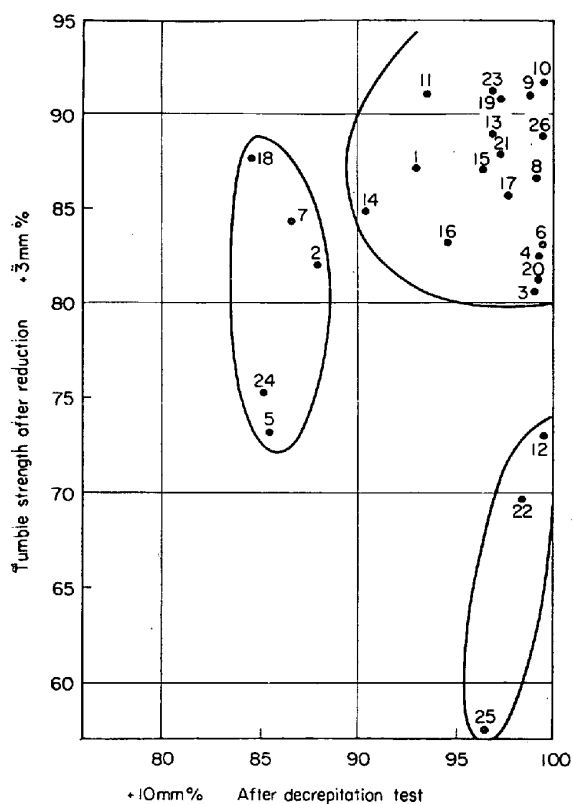
還元ガス：CO 30%，N₂ 70%，15 l / min

還元温度，時間：900°C，3hr

還元強度測定：還元後の試料全量を内径 130 mm φ のドラム中に入れ，30 min間，30 rpm で回転しその後，篩分，+3 mm で表示。

3. 熱間性状による分類

Fig. 1 に熱割れ試験後の +10 mm 指数と還元後の回転強度の +3 mm 指数との関係を示す。その結果にもとづいて，今回試験した鉄鉱石を次のごとく分類した。



Note 1: India, 2: Kiriburu, 3: Sakorda (M+L), 4: Sacorda (M), 5: Dungun, 6: Jorak, 7: Temangan, 8: Sibuguey, 9: Zeballos, 10: O. C. Nevada, 11: Eagle Mt, 12: Marcona, 13: Acari, 14: Algarrobo, 15: Romeral, 16: Sante Barbara, 17: Bandurriao, 18: Itabira, 19: Assoman, 20: Wilhelmi, 21: Buchwa, 22: LAMCO, 23: Goldworthy, 24: Geraldton, 25: Yampi sound, 26: Akatani

Fig. 1. Decrepitation degree by heating and tumbler strength after reduction.

(1) 熱割れも少なく，還元強度も高い鉱石。…ゼバルロス，ネパタその他多くの鉱石

(2) 熱割れは少ないが，還元強度が低い鉱石。……ヤンビー，サウンド，ラムコ，マルコナ

(3) 熱割れの著しい鉱石

この種の鉱石は，結晶水の含有の多少によりさらに2種類にわけた。

(a) 結晶水を多く含む鉱石……ズングン，キリブルタマンガン，ジェラルトン。

(b) 結晶水を含まない鉱石……イタバira

なお今回試験した鉄鉱石の中には熱割れは著しいが，還元強度が高いものはなかつた。これは還元試験，N₂ の際気流中での昇温過程で，すでに粉化するためと思われる。

4. 熱間性状についての検討

以上のごとく，試験した鉄鉱石は，それぞれ異なつた熱間性状を呈することがわかつたが，粉化の著しいもの原因について，次のごとく試験，検討を行なつた。

4.1 熱割れしない鉱石の還元粉化について

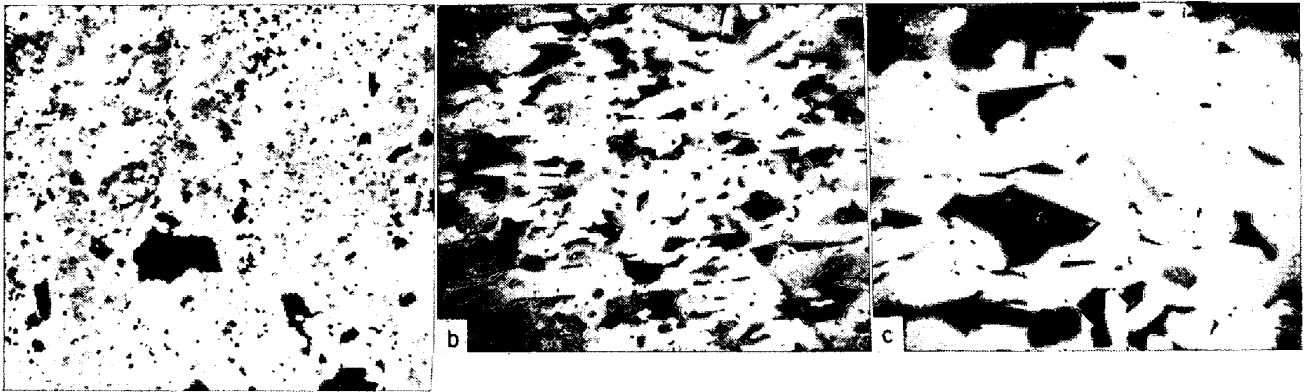
ヤンビー・サウンドやラムコの鉱石の一部には，熱割れはしないが，還元の際して異常膨張をおこして，粉化するものがあつた。この原因に関しては，渡辺らの研究²⁾結果のごとく，これらの鉱石は主としてsoftなhematiteであり，その結晶粒中には，マルコナ・ペレットと同様な連晶もしくは，それに相当するmicrotwinの発達が著しく，その双晶面が還元の際して弱点となり，結合が軟弱なことに相まつて粉化するものと考えられる。しかし熱割れ試験ではこのような組織の破壊が行なわれず，またporonsな組織が膨張の逃げとなつて粉化しないものと思われる。

4.2 結晶水を多く含む鉱石の熱割れ

熱割れの著しい鉱石のうち，ほとんどのものが化学分析の結果，Table 1のごとく，いずれもC. W. %が高く，また顕微鏡観察あるいはX線回折の結果，goethiteの存在が確認された。(Photo. 1-a) このgoethiteは加熱により分解，放出され，この気化した水蒸気の圧力により，鉱石が粉化するものと考えられる。この分解温度は結晶度の高低により差があり，270~400°Cの間にあるといわれる。また同程度にC.W.%を含む鉱石でも，多孔質のものは熱割れが少ないことから，気孔率%/C.W.%の比をとつて，これと熱割れ試験後の+10 mm %との相関をとつてみた。このときの気孔率の測定には水銀式見掛比重測定装置およびBeckmann型空気比較式比重計を使用したので，この気孔は1 atmで水銀が入らず，2 atmで空気が入り得る開気孔ということになる。この試料は熱割れ試験と同一のロットから採取した

Table 1. Chemical analysis and porosity of some ores.

Name	T. Fe	FeO	SiO ₂	C.W.	Porosity	Porosity/C.W.	+10 mm% after decrepitation test
Kiriburu	64.09	0.29	1.00	4.62	10.0	2.16	87.4
Dungun	62.48	4.45	1.86	6.19	13.2	2.13	85.7
Temangan	53.90	0.22	4.47	10.87	12.6	1.16	86.6
Itabira	68.14	0.22	0.52	0.61	5.9	9.68	84.9
Geraldton	59.27	0.14	3.86	8.97	14.6	1.63	85.2



a : Kiriburu ore, $\times 200$ b : Itabira, A (hard, laminated) $\times 100$ crossed nicol
c : Itabira B (soft, massive) $\times 100$ crossed nicol (2/3)

Photo. 1. Microstructure of ores before heating.

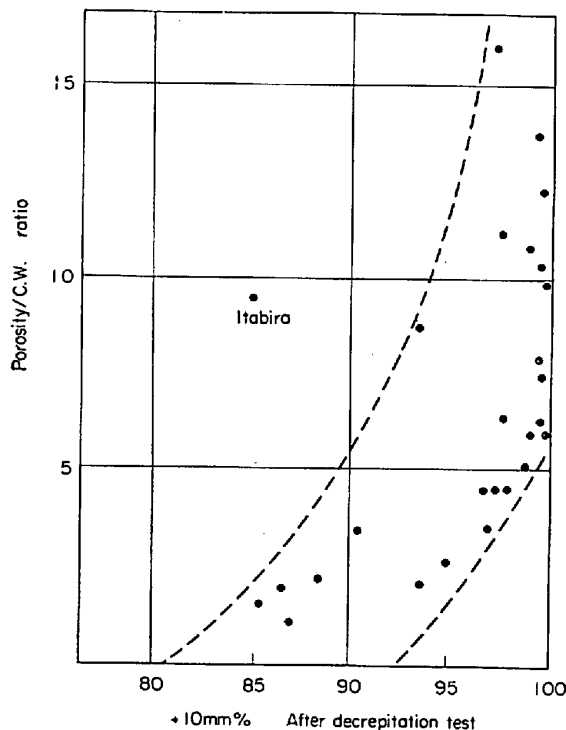


Fig. 2. Decrepitation degree by heating and porosity/C. W. ratio.

ものであるが、同一ではない。Fig. 2に気孔率%/C.W.の比と熱割れ試験後の+10mmの値との関係を示したが、両者間にはかなり有意な相関が見られた。すなわち気孔率%/C.W.%の値が小さい程、熱割れが著しくなり、一方C.W.%は多くても多孔質の鉱石は熱割れが少ないことがわかったが、これは分解、生成した水蒸気が容易に外部に逃出するため鉱石を破碎するに至らないものと思われる。なおイタビラ鉱石は、気孔率%/C.W.%の値が比較的大きいにもかかわらず、熱割れがはなはだしいことから、この鉱石は別の機構によつて熱割れすることが予想される。

4.3 結晶水を含まない鉱石の熱割れ

イタビラ鉱石は前記のごとく、C.W.を含まず、X線回折でも goethite は認められず、ほとんど hematiteで

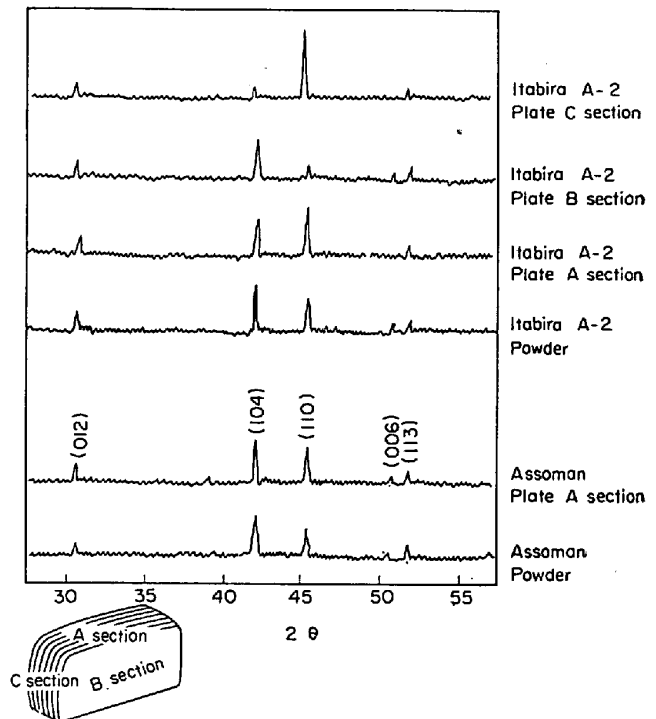


Fig. 3. X-ray diffraction charts of Itabira and Assoman ores.

あつた。従つてこの種の鉱石の熱割れは、結晶水の分解によるものとは考えられない。これまでの各所における研究によれば、結晶粒の方向性や配列によつて、熱膨張の差が強くあらわれ、結晶粒界に応力を生じて割れるものといわれる。同鉱石の顕微鏡組織を観察すると、熱割れの大きいA (hard, laminated) においては、比較的小さい扁平な結晶粒が層理に平行に存在し、一部においてはかなり乱雑な配列が見られる。(Photo. 1-b) 一方熱割れの比較的小さいB (soft, massive) では、比較的大きな結晶粒が不規則に配列されている。(Photo. 1-c) さらに当所では、顕微鏡観察に加えて、X線回折により hematite 結晶の方位配列を調査した。イタビラAの試料を層理に平行および直角の方向に板状に切出したものおよび粉末試料についてX線回折を行なつたところ、Fig. 3のごとく、板状試料の回折図形は粉末試料の場合

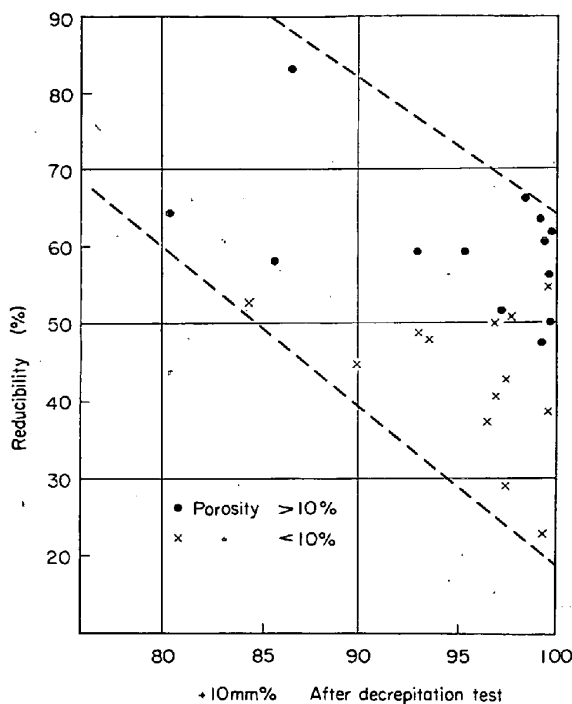


Fig. 4. Decrepanation degree by heating and reducibility.

と大分異なっており、特定の方向への方位配列がかなり発達していることが認められた。一方比較のために、熱割れのほとんどないアソマン鉱石についても同様な X 線回折を行なったが、外観では層状をなしているにもかかわらず、粉末と板状試料の回折図形には差がなく、従って結晶の方向性がないことが裏づけられた。イタピラ A は、特定方向に発達した結晶粒の配列とそれと方向の異なる配列との間に、急熱に際して、熱膨張の差が現われるために応力を生じ、熱割れするものと思われる。この種の鉱石でも soft なものは存在する大きな気孔のために、発生した応力が弛緩して、熱割れが少なくなるものと考えられる。

4.4 熱割れと還元性

熱割れ試験での +10 mm% と、JIS 法での還元試験による還元率との関係を Fig. 4 に示す。鉱石の還元率は試料の気孔、酸化鉄および脈石の状態により差があるといわれており、同図でも気孔率の高い鉱石は一般に還元性がよい。熱割れが大きい鉱石は、概して還元率が高いが、これは還元試験の際、900°C までの昇温過程で鉱石が割れて、還元の反応面積が広くなり、その結果還元率が高くなるものと思われる。

5. 結 言

当社の高炉で使用している約 30 種類の鉄鉱石について、熱間性状を調査し、次のことがわかった。

(1) 鉄鉱石の熱割れ試験および還元後の回転強度試験を実施し、その結果より、次の 3 型式に分類した。

- (a) 熱割れが少なく、還元強度も高い鉱石。
- (b) 熱割れは少ないが、還元強度が低い鉱石。
- (c) 熱割れの著しい鉱石。

(2) 熱割れの著しい鉱石のうち、結晶水を多く含むものは、加熱により結晶水を分解、放出する際に、その

圧力により熱割れするものと考えられ、その程度は気孔率/C.W.% の比と相関があつた。

(3) 結晶水をほとんど含まない鉄鉱石の熱割れの原因は結晶粒の方向性や配列によるもので、結晶の方位配列については、検鏡および X 線回折により確認した。

(4) 熱割れする鉄鉱石は、還元過程で破碎により還元の反応面積が大きくなるため、概して高い還元率が得られた。

文 献

- 1) 神原, 藤田, 他: 鉄と鋼, 52 (1966) 9, p. 1348
- 2) 渡辺, 吉永: 鉄と鋼, 52 (1966) 9, p. 1355
- 3) 国井, 稲葉: 鉄と鋼, 52 (1966) 3, p. 228
- 4) 石光, 佐藤, 他: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 1760
- 5) 神原, 藤田, 他: 鉄と鋼, 51 (1965) 4, p. 586
- 6) 鋼管・技研: 学振 54 委, No. 883
- 7) 富士・室蘭: 第 29 回製鉄部会資料

(討-4) 高炉原料の異常性状について

住友金属工業, 和歌山製鉄所 ○井 関 祥 浩
On the Abnormal Behaviours of Blast Furnace Burdens

Yoshihiro IZEKI

1. 結 言

鉄鉱石の熱割れ、還元膨張および焼結鉄の還元粉化などの高炉原料の熱間異常性状について、種々試験調査を行ない、実操業との関連を検討した結果について報告する。

2. 鉄鉱石の熱割れ試験

代表的な熱割れ鉄石 Rio doce, Hamersley, Kiriburu の 3 銘柄について、鉄鉱石特性研究分科会方式によつて熱割れ試験を行ない、昇温中での破裂音数を大, 中, 小に区別して数え、温度と破裂音数の関係を図示したのが Fig. 1 である。同図では破裂音大は 3 個分, 中は 2 個分として表わし、大の個数は付記している。Rio doce 鉄石で熱割れするのは主に層状 (laminated) のものであり、150°C ですでに小さな熱割れが始まり、240~280°C で破裂音は最も大きくかつ多くなり、360°C をこえると大きな破裂はほとんどなくなる。Hamersley の熱割れ温度は Rio doce に比べて高く、約 230°C で始まり、320~460°C で最も著しく、その破裂音はかなり強烈である。Kiriburu も Hamersley とほぼ同温度で始まり、400~440°C で最もはげしくなる。しかし Hamersley に比べると、熱割れの程度は小さい。Rio doce の場合は結晶水がほとんどなく、層状にそつて割れることから、加熱によつて方向性のもつた組織が膨張によつて応力が加わり、両面から剝離するものと考えられる。Hamersley, Kiriburu の場合は結晶水が高く、goethite の分解温度付近で熱割れがはげしいことから、結晶水の蒸気圧によるものと考えられ、また特に前者は結晶水が比較的少ないにもかかわらず強烈な破裂があるのは吉井なども指摘している¹⁾ ように、組織が密で open pore が少ないためである。