

## 討1

## 鉄鉱石類の高温性状研究のアプローチについて

東北大学選鉱研究所

大森原男

1. 緒言 わが国の製鉄技術の進歩は極めて目ざましく、その成果は生銑量、出銑比の増大、コーラス比の低減に如実に現われている。種々の要因のうち、装入原料の整粒強化、塊成銑使用割合の増加等装入物の事前処理技術の向上が果たした役割は大きい。高炉操業の安定化、生産性の向上ならびにコーラス比の低減がさらに要求されるとともに、装入原料に占める輸入ペレットの割合が増加しつつある現況、鉄鉱石の品質に課せられる要求は一段と厳しくなることが予想される。筆者はこれらで鉄鉱石類の高温性状に関する研究に従事したことはないが、この数年、学振委鉄鋼第54委員会、鉄鉱石物理測定小委員会に関係して、この分野の研究の推移を眺めてきており、また現況 処理鉄石を対象として還元反応の反応工学的研究に従事している。かゝる筆者の立場から高炉炉内反応の解明に必要な高温性状研究のアプローチについて見解を述べてみたい。

2. 高温性状研究の経緯 学振委鉄鋼第54委員会における昭和20年代後半より30年初頭の治炭の研究と討議が実り、昭和33年12月 塊状鉄鉱石の標準試験法<sup>1)</sup>が制定された。業界に先駆けて鉄鉱石の品質評価方法の主要な一つである還元性の評価法がつけられたことは極めて価値の高い業績といつてよい。わが国ではその後、急速な鉄鋼生産の伸びに対処する海外鉄鉱石資源の確保が必要となり、また良質の塊成銑として自産性焼結銑の使用に重点がおかれるようになった。当然これら装入原料の品質評価も従来行われていた鉄分品位、脈石および不純物の含量および量、落下強度試験、還元試験などのほか、いわゆる高炉の物理的挙動すなわち通気性や流動現象に密接に関連する熱向性状の検討が叫ばれるようになった。さらに昭和38年頃には輸入ペレットの高炉における使用が問題となり、ペレットの性状に関する研究が盛んに行われた。輸入ペレットの増加につれて、その性状に関してメーカーに要望する面々わが国においてこれを使用する際の基準とするため、性状の標準試験法の制定が要望された。製鉄54委員会ではこれに添えて、昭和39年鉄鉱石物理測定小委員会を発足させ、暫定的にペレットの標準試験方法を制定した。これは大別して脈柄の特性値(真比重、見かけ比重、気孔率)の測定方法と常温強度および還元後強度の決定方法より成る。ここで還元後強度は一般の高温性状を常温で測定しようとするもので塊状還元試験後の試料を常温で回転強度試験に供するものである。その後ある種のペレットの還元過程における異常なふるい分けや焼結銑の低温還元粉化の対策が研究の中心となり、高炉操業成績とこれらの高温性状試験との関係性やさらに積極的にその関係性を解明するため小型シヤフト炉を用いた性状調査が熱心に行われた。この時期に本協会で焼結銑、ペレットの性状に関するシンポジウムが行われるようになり、筆者らも従来本誌および学振54委に提出された資料と中心として還元粉化、荷重還元下における膨脹、収縮、軟化現象について論じた。残念ながら従来の結果からは問題点の抽出ができたにせよ、統一的理解を得るに至らなかつた。その主な理由は各研究者の用いた試料、試験装置および試験条件の相違にあった。そこで学振54委員会では共通試料を用いて高温性状に関する共同研究を計画し、大学、官公庁研究所、民間各社の協力を得て広範囲の研究を実施した。ねらいとしては(1)共通試料それ自体 (2)従来の試験方法、試験条件の見直し (3)統一試験法の摸索 (4)焼結銑とペレットの高温性状の比較 と広範囲にわたるものであった。このうち(1)は現状では高温性状のアプローチがある方向で絞り得る段階ではなく他方面から攻める必要があり、共通試料を各研究者がそれぞれの立場から進めている研究に使用し、そこで得られた知見が高温性状の解明に違がることを考へたからである。これらの結果は逐次 物理測定小委に提出され総括も報告<sup>2)4)</sup>されているが高炉の炉内調査、試験高炉

あるいは小型シヤフト炉試験と相俟って炉外試験法としての高温性状の把握と従来の試験方法、試験条件の問題点が明らかにされた点で、これらにより数歩進んだ立場を得たといつて過言でない。一方世界各国においても、最近還元試験法を含め、高温性状試験方法およびその結果について多くの研究が報告されるようになり、ISO鉄鉱石委員会、物理試験専門委員会でも生産者、消費者の双方が納得しうるような試験法の開発を目ざして、各国試験方法の情報交換がなされつつある現状である。

3. 高温性状に関する共同実験の成果

共同実験結果の詳細は別報<sup>4)</sup>を参照されたいが

、今回の共同実験を通じて得られた成果のうち特徴的なものをこみ挙げて論じてみたい。

1) 試料<sup>2)</sup> 用いた試料の種類とその化学組成を

表 1 に示す。すなわち焼結鉱は塩基度 1.0

、1.5、2.0 付近のもので、おのおのワークス配合割合を若干変えて 250 kg 試験鍋で製造 (八幡製鉄(株)(現新日本製鉄(株))八幡製鉄所技術研究所にて製造) した 6 種。ペレットについては、表 1 のペレット 1、2 はそれぞれ 20 t/day の試験プラントで製造 (株神戸製鋼所中央研究所にて製造) した酸性および自溶性 (塩基度 1.35) のもの、ペレット 3 は輸入ペレット (住友金属工業(株)中央技術研究所より提供) である。

表 1 試料の化学組成 (単位%)

試料	T.Fe	FeO	SiO	備 考	
				MgO	気孔率(%)
ペレット 1	65.1	0.9	3.7	0.37	14~17
” 2	62.5	1.1	3.7	0.48	17~19
” 3	64.6	1.4	3.8	2.81	20~23
試料	T.Fe	FeO	SiO	CaO/SiO	
焼結鉱 1	59.6	9.4	6.1	1.04	
” 2	59.0	12.7	6.5	1.07	
” 3	58.4	6.5	5.6	1.55	
” 4	57.8	11.4	5.8	1.59	
” 5	55.7	6.2	6.2	1.88	
” 6	55.7	7.6	5.9	2.04	

2) 試料の常温特性値およびその分布の測定<sup>5)</sup> 天然鉱石の場合同一鉱柄においても可成り性状の異なるタイプが混在することが知られているが、処理鉱石においてもその製造履歴、工程管理の適正度によって特性値に

分布を生ずる。図 1 は 3 種のペレットの見掛け密度のヒストグラムの比較でペレット 3 は 1、2 に比し可成り分布が広い。これは焼成履歴を反映していると考えられ、その影響は圧縮強度、被還元性、顕微鏡組織、ふくれ指数などに明瞭に現われることが明らかにされた。このことは、常温の試験でできるだけ特性値を把握するのが賢明であること、試料の平均値とともに分布に留意すべきことを示唆している。したがって天然鉱石や製造履歴を詳細に把握しない輸入ペレットの場合には、常温試験をタイプの仕分け手段として用い、各分布毎の高温性状を知る必要があらう。

3) 還元後強度と昇温回転還元 この両者の特徴

を比較すれば

還元後強度試験

昇温回転還元試験

- |                             |                  |
|-----------------------------|------------------|
| (1) 等温                      | 昇温               |
| (2) 中性ガスによる昇温               | 還元ガスによる予備還元      |
| (3) JIS還元装置、還元後試料を利用しうるので簡便 | 特別の装置を必要とし、操作が複雑 |
| (4) 測定条件に制限がある              | 測定条件可変           |

となる。筆者らは学術法を基礎とした JIS 還元試験方法の検討<sup>6)</sup>を行い、それが還元過程の強度指数または粉率をもとめるための試験条件に用いられるべきの問題点を

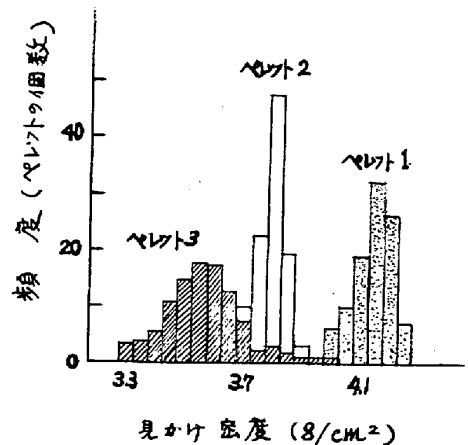


図 1. 3 種類のパレットの見かけ密度のヒストグラム

指摘した。筆者らは還元プロセスの解析に必要なパラメータをもとめるための装置としてとらえて論じたが、高炉における高温性状を把握する目的にこの試験条件を用いようとするれば、さらに次のような検討が必要であらう。すなわち中性ガス雰囲気中で昇温したのち、比較的還元力の強いガスによる等温還元にて切換える試験条件がどの程度高炉内で装入物が経る還元履歴を表現しうるかの検討が必要であらう。この予備的検討なしにJISの還元試験条件を使用することは、高炉内における現象の解明に結びつかなくなる恐れが生ずる。この英筆者の判断によれば、比較的弾力性に富む試験条件が得られると思われる昇温回転還元試験とこの還元後強度試験の結果の対比は興味があつたが、後者についての各社の指数に開きが大きすぎること、銘柄、組成による傾向の不一致などの理由で両者の比較は困難であつた。

還元後強度試験に関してはなお試験自体の精度を考へる必要がある。一同として各社に配布された供試料の均一性が指摘されているが、操作条件が複雑な昇温回転還元の結果では各社概ね一致した傾向を示しているのど、その他の原因としてJIS還元試験操作あるいは同装置の不一致に基づくように思われる。さらに焼結鉱とペレットというように異なった種類間の比較や同一種類間でも天然鉱石やペレットのようにその還元性の難易によつて最終還元率の違う状態で強度を比較することも問題である。最終還元率が種類、銘柄間でどの程度差があるかを示したのが、図2であり、これは最近の各社の還元試験調査結果<sup>7)</sup>によつたものであるが、天然鉱石、ペレットは最終還元率の広がりが大きく、一方焼結鉱は比較的狭い範囲の最終還元率に入る事がわかる。たとへば還元後強度試験を採用しても、還元率は一定の条件で比較する必要がある。

一方昇温回転還元では各社各所の採用した試験条件が若干異なつていたにも拘らず、種類の特徴、同一種類では組成の影響が明瞭に現われ、各社の結果の傾向も一致している。(図省略) このことは昇温回転還元試験は高温性状試験方法として考慮する価値があるように考えられる。この方法の目的について高炉の回転還元率と密着した肉聯性を示すため、他は還元過程の強度を評価するためとするこの意見がある。しかし還元過程の強度と被還元性と分離することは不可能である。高炉における装入物の下降に伴つての運動と昇温回転還元の回転の相違は別として、高炉内で装入物は種々の原因による強度低下と昇温還元過程に生じ、強制的運動がこれに加われれば特有の粒子破壊を起し特有の粒度分布を生じ、この細粒化によつて還元が促進されるので強度と被還元性と分離して論ずることは意味がない。

4) 軟化および溶け落ち現象 従来の荷重軟化試験では昇温過程の粉化や細粒化の影響や充填層内の荷重分布や軸方向の還元率分布の効果が顕著、収縮曲線あるいはガス圧変化に複雑に包絡し、軟化現象のみを取り出し得た場合があつた。<sup>2)</sup> 今回の共同実験でも従来法では図3(a)に示したように、焼結鉱の場合2段の収縮が現われている。2段の収縮のうち低温で起る収縮の原因は不規則の析出ともち、粒子径の大きい焼結鉱が初期の充填状態から密な充填構造に移る際の再配列に基づくことが明らかにされた。<sup>8)</sup> このことは荷重軟化試験に充填層を用いる場合には層高と粒子径を適切な値に選ばねばならないことを示唆している。今回の共同実験ではさらに層内の還元率分布を避けることと、各銘柄の共存組織

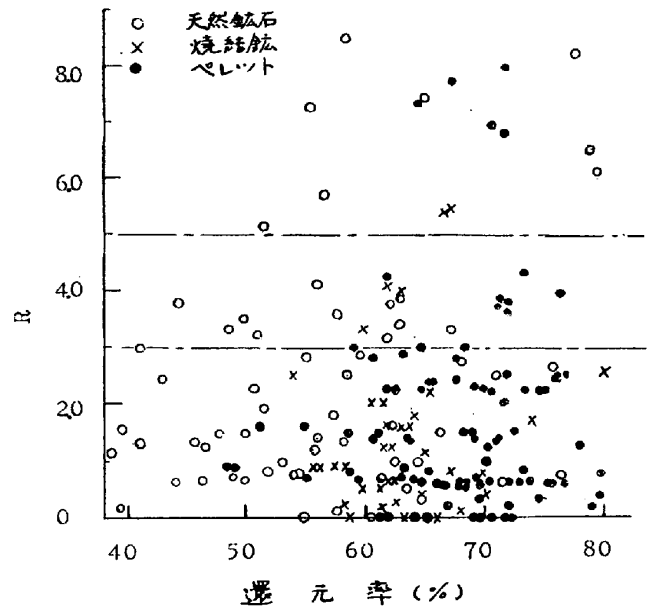


図2. JIS還元試験に関する調査結果

が異なる場合の効果を知るため2相共存法を試みた。焼結鉱についての結果の一例を 図3(b) に示す。すなわちウスタイト-マグネタイト共存相およびヘマタイト-マグネタイト共存相に比しウスタイト-金属鉄共存相の軟化性は大きく通気抵抗も大となる。さらに従来法において認められた2段收縮は2相共存法では認められなかった。ウスタイト-金属鉄の軟化性が大きいことはペレットの場合にも認められた。

一方 高炉々内における装入物の溶け落ちの挙動は、高炉下部の溶解帯の中や溶解帯での通気性を支配する。溶融温度、還元状態、スラグ組成などは鉄鉱石の種類によって固有の状態を示すもので、最近の試験高炉の解析<sup>9)</sup>や臭炉の炉内調査結果<sup>10)</sup>はこれら溶解帯における装入物の挙動について貴重な情報を提供するとともに、試験高炉の効果がこの目的のために大きいことを示した。この現象を炉外の試験によりアプローチすることは可成り困難であるが、興味ある調査方法も試みられている<sup>11)</sup>。すなわち所望還元率まで予備還元した試料を急速な昇温条件下で溶融状態まで加熱し、溶け落ちするスラグおよびメタルの量および組成を決定する方法である。図4は主として焼結鉱の実験例を示したが、天然鉄石、ペレットと比し焼結鉱の場合 (1) 予備還元率にあまり依存せず (2) 溶け落ちるスラグ固有の温度で溶け落ち、溶け落ちスラグの組成の変動は少ない。同図には天然鉄石およびペレットの傾向も同時に示し、自溶性ペレット(表1ペレット2)の結果も回示したが、自溶性ペレットは溶け落ち時にFeO が少ないために溶け落ち温度は酸性ペレットに比し高く、溶け落ち温度範囲が狭く焼結鉱と類似した性質を有するところが明らかにされた。このような実験方法は還元条件下の鉄鉱石類の高温における物理化学的性状、溶け落ち成分、溶け落ち温度などを知らる上には有効な試験方法となる可能性がある。

4. 結語 鉄鉱石類の高温性状に関する学振製鉄第54委員会共同実験結果を中心として常温における調査方法、装入物の還元過程の温度試験、軟化、溶け落ち現象に対するアプローチにつき論じた。

文献

- 1) 日本学術振興会製鉄第54委員会; 鉄と鋼 56 (1970) No.7, P.802.
- 2) 三本木, 大森, 浅田, 安達, 高橋; 鉄と鋼 54 (1968), S.295.
- 3) 三本木, 大森, 嶋村; 学振資料 54巻-1143 (昭和44年11月25日)
- 4) 三本木, 大森; 学振資料 54巻-1173 (昭和45年11月25日)
- 5) 近藤, 佐々木, 中沢, 伊藤; 鉄と鋼 56 (1970), S.366.
- 6) 嶋村, 照井, 大森, 三本木; 鉄と鋼 56 (1970), P.1594.
- 7) 日本鉄鋼連盟 ISO 物理試験専門委員会幹事会; 資料 ISO 物幹 720 (昭和45年12月22日)
- 8) 神原, 萩原, 石崎; 鉄と鋼 54 (1969), S.417
- 9) 福島; 鉄と鋼 56 (1970) No.11, S.350.
- 10) K. Kodama and S. Hashimoto; International Conference on the Science and Technology of Iron and Steel (1970) Conference Preprints P.57.
- 11) S. Kondo, M. Sugata and T. Sugiyama; Ibid., P.17.

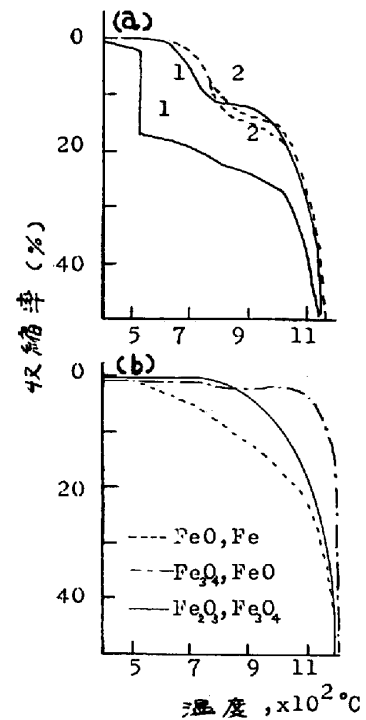


図3. 焼結鉱の荷重軟化試験における収縮曲線の一例 (試料 焼結鉱1) (a) 従来法 (b) 2相共存法

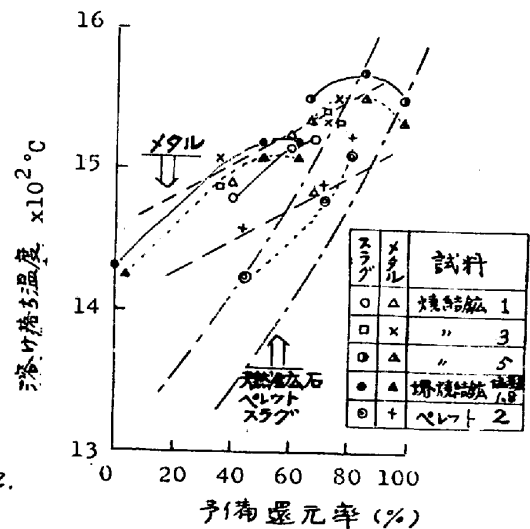


図4. 各種焼結鉱およびペレット2の溶け落ち温度に及ぼす予備還元率の影響