

討 1

鉄 鉍 石 類 の 溶 融 滴 下 に つ い て

生産技研 工博 西田信直
 新日鉄 生産技研 工博 重見彰利
 生産技研 ○ 斧 勝也
 君津製鉄所 山口一良

1. 緒 言

教基の高炉解体調査の結果、融着層の存在が確認され、その位置、形状が高炉の燃料比、生産性などの面から重要視されている。しかしながら融着帯の生成機構、溶融滴下機構の解明は解体調査のみでは十分でなく机上による基礎的研究が必要である^{1)~4)}。本報告は融着帯に於ける鉄鉍石類の溶融滴下についておもに原料性状との関連で検討したものである。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は図1に示すようにタンマン炉を用い荷重下で昇温還元を行なった。試料の下には床敷コークスを置き滴下穴からの滴下物は5~50℃の間隔で受皿で採取し、冷却後メタルとスラグに分離して収率と化学組成を求めた。1200℃まではN₂雰囲気中で加熱し、ここで10分間保持したのちCO 1ℓ/minに切り換えて荷重を1.2Kg/cm²に加え、1550℃まで5℃/minの昇温速度で加熱した。良好な高炉操業では滴下スラグのFeOは非常に少ないことから、通常は90%以上の予備還元を行なった試料を用いた。FeOの効果を検討する実験では予備還元時間を変えて還元率の異なる試料を用いた。

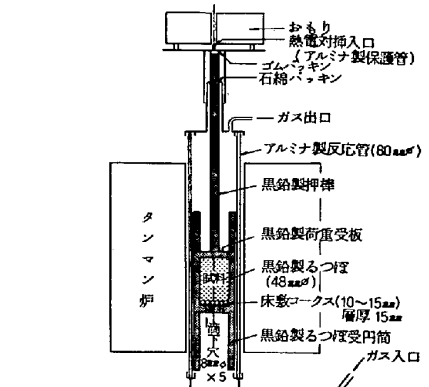


図 1. 溶解帯滴下実験装置

3. 塊鉍石および酸性ペレットの溶融滴下性状

使用した塊鉍石および酸性ペレットは大部分が日常使用されている高炉原料で、脈石量、脈石融点から表1のように分類できる。表1の鉄鉍石類の溶融帯滴下実験結果は次の通りである。

表 1. 脈石量，脈石融点による分類

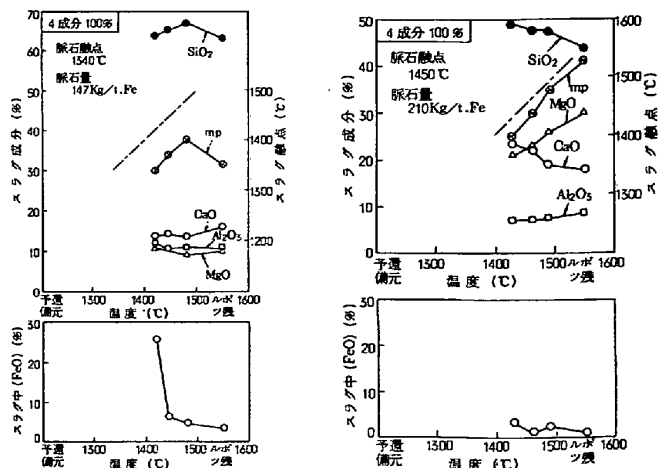
脈石量	脈石融点	塊 鉍 石	酸 性 ペ レ ッ ト
多	高	カンガ	ハマスレーP, ローブリバーP
少	高	Mtニューマン	ワイヤラPA, ワイヤラPB
多	低	サンタフェ, セロイマン ベックA, ベックB	国内PA, 国内PB ダスト還元P
少	低	ハマスレー	マルコナP, サベジリバーP

1) 脈石融点が高いか、脈石量の少ない塊鉍石はメタル

のみ滴下しスラグは滴下しない。これは脈石融点が高いと脈石は溶解せず、脈石量が少ないと脈石融点に達して脈石が溶解しても脈石の凝集ができないため、このような性状をもつ塊鉍石の滴下開始温度はメタル長炭によって決定される。

脈石融点が低く脈石量が比較的少ない塊鉍石では、脈石融点(SiO₂+CaO+Al₂O₃+MgO=100%とした融点)よりも高い温度で滴下を開始する(図2-a)。これは脈石は溶解するが脈石量が少ないため凝集が遅れて滴下温度を上昇させるためである。脈石量が多い場合には滴下スラグ融点と滴下開始温度はほぼ一致し、低融点部分より滴下する。したがって滴下スラグの組成は滴下温度によって変化し不均一になる(図2-b)。

2) 酸性ペレットでは焼成工程が入るため塊鉍石に



(a) 脈石融点低く、脈石量が比較的少ない場合(セロイマン)

(b) 脈石融点低く、脈石量が多い場合(ベック)

図 2. 滴下スラグの化学組成(塊鉍石)

比べて脈石が凝集しやすく、スラグが滴下しないケースは認められない。脈石融点が高く脈石量の多い場合にはFeOを含めた実質融点によって滴下開始温度が決定される(図3-a)。脈石融点が高く脈石量の少ないペレットでは脈石の凝集ができないため、メタル長炭が滴下温度を決定する。この場合にはスラグはメタルに付着して滴下する(図3-b)。脈石量が多く脈石融点の

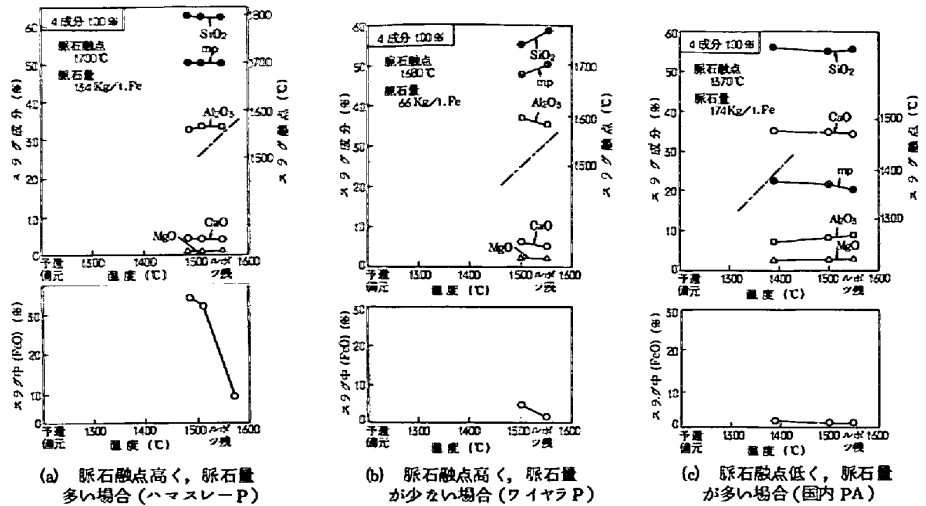


図3. 滴下スラグの化学組成(酸性ペレット)

低いペレットはスラグ滴下開始温度とFeOを含めたスラグ融点が高い一致している(図3-c)。滴下スラグの組成は塊鉱石よりかなり均一である。

塊鉱石および酸性ペレットを脈石量、脈石融点の分類にしたがって滴下性状は表2にまとめた。この表より好ましい装入物としては塊鉱石では脈石量が多く脈石融点の高いもの、酸性ペレットでは脈石融点の高いものがあげられる。

4. 焼結鉱の溶融滴下性状

塩基度の異なる焼結鉱7種類を用いて溶融滴下性状を検討した。

焼結鉱は脈石量が多いため、滴下開始温度は平均脈石融点よりも低いが、塩基度が高く脈石融点が高いため一般には滴下開始温度が高い。塩基度が高くなり過ぎると脈石が溶解せず、したがって滴下はメタル長炭によって決まるようになりメタルが先に滴

表2. 塊鉱石および酸性ペレットの融着滴下性状

分類	脈石量	脈石融点	塊鉱石	滴下開始温度	滴下開始物	良否
1	多 ~150 Kg/t-Fe	高 ~1600°C	カシंगा	1470°C	メタル	○
2	少 ~40 Kg/t-Fe	高 ~1700°C	Mtニューマン	1410°C	メタル	△
3	多 130~220 Kg/t-Fe	低 1300°C ~1450°C	サンタブエ セロイマン ベックA ベックB	1365°C ~1430°C	スラグ または スラグ・メタル 同時	×
4	少 ~60 Kg/t-Fe	低 ~1450°C	ハマスレー	1410°C	メタル	△

分類	脈石量	脈石融点	酸性ペレット	滴下開始温度	滴下開始物	良否
1	多 120~130 Kg/t-Fe	高 1600°C ~1700°C	ハマスレーP ロープバーP	1400°C ~1465°C	スラグ	○
2	少 60~100 Kg/t-Fe	高 ~1700°C	ワイヤラPA ワイヤラPB	1455°C ~1485°C	スラグ・メタル 同時	○
3	多 100~220 Kg/t-Fe	低 1300°C ~1450°C	国内PA 国内PB ダスト還元P	1250°C ~1390°C	スラグ または スラグ・メタル 同時	×
4	少 50~80 Kg/t-Fe	低 1350°C ~1450°C	マルコナP サベジリバーP	1385°C ~1440°C	スラグ または スラグ・メタル 同時	△

○; >1450°C, △; 1400~1450°C, ×; <1400°C

下し滴下温度がかえって低下する。図4に焼結鉱の塩基度と滴下開始温度との関係を示すが、CaO/SiO₂が1.5~1.8のとき滴下開始温度が最大になる。

滴下メタル中のC含有量を図5にFe-C系状態図の上にプロットしたが、メタルが滴下する時点ではすでに完全に溶解温度に達している。したがって

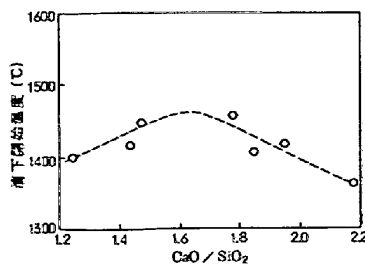


図4. 焼結鉱の塩基度と滴下開始温度の関係

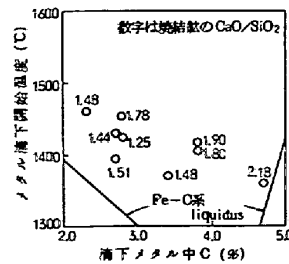


図5. メタル滴下開始温度と滴下メタル中Cの関係

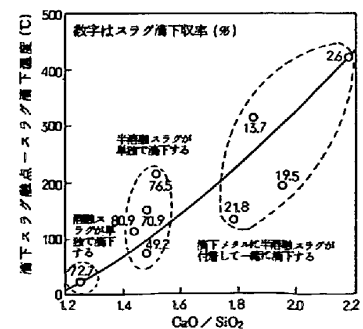


図6. 焼結鉱の塩基度とスラグ滴下温度との関係

メタルの凝集を抑えることが滴下開始温度を高くすることになると考えられる。図6に滴下したスラグの融点とスラグの滴下温度との関係を示したが、塩基度が低いときには両者はほとんど一致しているが塩基度が高くなると滴下温度よりもスラグ融点のほうが高くなりその差は大きくなる。塩基度が1.4~1.5まではスラグが溶融または半溶融で単独に滴下するが、1.8以上になるとスラグのみでは滴下できなくなりスラグがメタルに付着して一緒に滴下するようになる。

5. 塩基性ペレットおよびコールドペレットの溶融滴下性状

塩基性ペレット6種類、コールドペレット5種類について溶解帯滴下実験を行なった。塩基性ペレットおよびコールドペレットは添加剤として石灰石、セメント等を用いているため、酸性ペレットに比べて脈石量が多い。また焼結鉱のように多種銘柄の配合により組成的に安定しているものに比べ脈石組成の変化が大きく、塩基度と脈石融点の間には必ずしも一定の関係はない。コールドペレットは非焼成のためその製造過程では塩基性ペレットと異なるが、高炉間に装入され加熱還元され高温に達すれば両者には本質的な差異はないものと考えられる。

図7は脈石融点と滴下開始温度との関係を示したもので、脈石融点が1500~1700℃のとき滴下開始温度も高く、この範囲より脈石融点が高くても低くても滴下開始温度は低下する。脈石融点が1700℃を越えると高塩基度焼結鉱と同様な挙動を示し、スラグが単独には滴下せずメタルに付着して滴下し滴下温度を低下させる。脈石融点が1500℃近傍のペレットの脈石量と滴下開始温度との関係を図8に示したが、脈石量が150~250 Kg/t-Feのとき滴下開始温度が最も高くなるのが認められた。

6. 溶融滴下性状に及ぼす予備還元の影響

これまでの滴下スラグ中のFeOが非常に少ない場合を想定して試料の予備還元率を90%以上として検討を進めたが、高炉内でのガス流れが偏ったり高炉不調などには還元率の低い鉱石類が溶融することも考えられる。そこで予備還元率を変化させた試料について溶解帯滴下実験を行なった。

図9は焼結鉱の予備還元率と滴下開始温度との関係を示したもので、予備還元率によって極大値があり、塩基度の高いものほど高予備還元側の低下度合いが大きいのが認められる。これは塩基度の高い焼結鉱では予備還元率が高いと脈石のメタル浸炭凝集を抑える効果はないが、予備還元率が低下しスラグ中にFeOが入ると融点が低下すると粘性の高いスラグによってメタルの浸炭凝集を抑える効果がでてくるためと思われる。予備還元率が低くなると融点が下りすぎて滴下温度も低くなる。塩基度が低くなると滴下開始温度の極大値は予備還元率の高い方向に動き1.2程度になると極大値はなくなる。

塊鉱石、酸性ペレットの場合にも予備還元率の低下により滴下開始温度は低下する。90%以上の予備還元時と約50%の予備還元時の滴下開始温度の温度差と $SiO_2' = SiO_2 - CaO - MgO$ との関係は図10のようになり、Free SiO_2 の多いものほど予備還元の影響は大きくFe-Silicateの生成による脈石融点の低下が滴下開始温度低下の主要原因であると考えられる。塊鉱石と酸性ペレットでは温度低下の度合いが異なるが、焼成した酸性ペレットのほうのスラグ化しやすいためであろう。

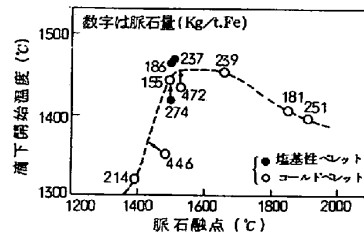


図7. 脈石融点と滴下開始温度との関係

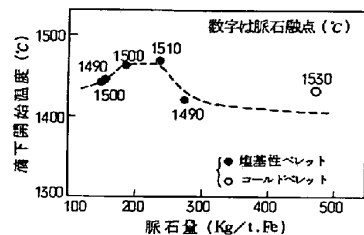


図8. 脈石量と滴下開始温度との関係

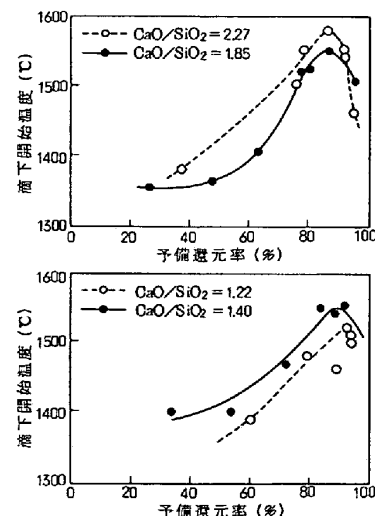


図9. 滴下開始温度に及ぼす予備還元率の影響(焼結鉱)

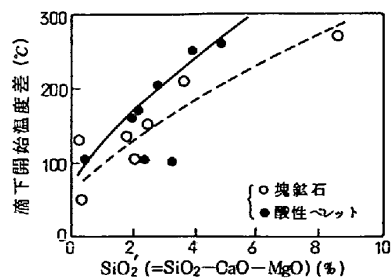


図10. 滴下開始温度に及ぼす脈石の影響(塊鉱石、酸性ペレット)

塩基性ペレットおよびコールドペレットの場合も CaO/SiO_2 が極端に高い場合を除けば、予備還元率の低下により滴下温度が低下する。 CaO/SiO_2 が極端に高いものは高塩基度焼結鉱と同様な性状を示し、ある予備還元率で極大値をとるようになる。図11は SiO_2 量 (SiO_2 は負になるので単に SiO_2 とした) と滴下開始温度の低下度合いを示したもので図10と同様の関係があることが認められた。

7. 異種鉱石類混合装入物の溶融滴下性状

塩基度の異なる4種類の焼結鉱をベースとしてこれに塊鉱石、酸性およびコールドペレットを1:1で配合した。このとき平均脈石融点が高くなる場合には軟珪石を加えて1500℃に調整した。

鉱石類の溶融滴下にはメタル浸炭が律速になる場合とスラグ溶融が律速になる場合があり、一般には図12に示すような滴下収率曲線を示す。焼結鉱に異種鉱石類を混合したときの滴下形式は1:1の配合では表3に示すように配合鉱石類の滴下形式に支配される。

滴下開始温度と脈石融点との間には図13に示すようにスラグ溶融律速の場合には平均脈石融点との間に関係があるが、メタル浸炭律速の場合にはこの関係は成り立たない。したがって混合装入物の滴下挙動は個々の鉱石の滴下形式と混合装入物の総合脈石融点の両方を加味して考えねばならない。

8. 結 言

高炉融着帯における鉄鉱石類の溶融滴下と原料性状との関係を検討した。鉄鉱石類の滴下開始温度は脈石量、脈石融点、予備還元率と密接な関係があり、この組合せによりメタル浸炭あるいはスラグ溶融のいずれかが律速となり滴下開始温度が決まることが明らかになった。

9. 参考文献

- 1) K. Kodama et al ; Proc. ICSTIS , Suppl. Trans ISIJ , vol 11 (1971), P 112
- 2) V.M. Muravev et al ; Stal in Eng. (1970), P591
- 3) 佐々木ほか ; 鉄と鋼, 62 (1975), P559
- 4) 梶川ほか ; 鉄と鋼, 59 (1973), A81
- 5) S. Kondo et al ; Proc. ICSTIS , Suppl. Trans. ISIJ , vol 11 (1971), P 36
- 6) K.D. Haverkamp et al ; Arch. Eisenhüttenw. 39 (1968), P319
- 7) 斧 ほか ; 鉄と鋼, 61 (1975), P777

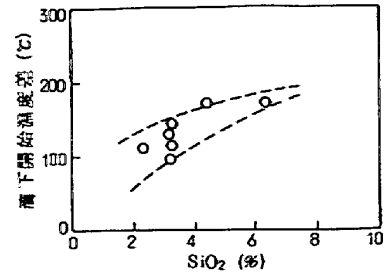


図11. 滴下開始温度に及ぼす脈石の影響 (塩基性ペレット, コールドペレット)

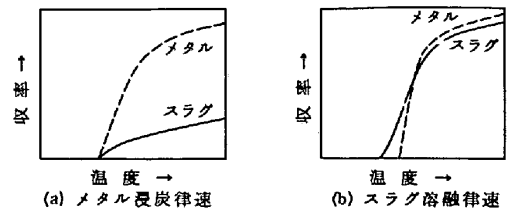


図12. 装入物の滴下状況

表3. 装入物の混合形式と滴下挙動

分類	焼結鉱	塊鉱石, 酸性ペレット, コールドペレット	混合装入物
1	メタル浸炭律速	メタル浸炭律速	メタル浸炭律速
2	メタル浸炭律速	スラグ溶融律速	スラグ溶融律速
3	スラグ溶融律速	メタル浸炭律速	メタル浸炭律速
4	スラグ溶融律速	スラグ溶融律速	スラグ溶融律速

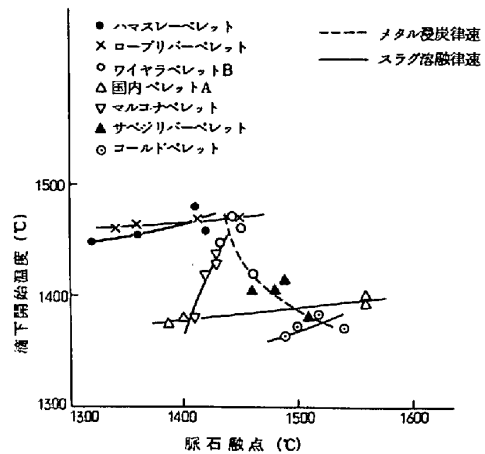


図13. ペレット混合装入物の滴下開始温度と脈石融点との関係 (焼結鉱+ペレット=1:1)