

## 論文

UDC 669.162.263.25 : 669.162.263.24

## 高炉装入物の溶融滴下について\*

斧 勝也\*\*・山口 一良\*\*\*・重見 彰利\*\*  
西田 信直\*\*・神原健二郎\*\*

## The Melt-Down Properties of the Blast Furnace Burdens

Katsuya ONO, Kazuyoshi YAMAGUCHI, Akitoshi SHIGEMI  
Nobunao NISHIDA, and Kenjiro KANBARA

## Synopsis:

The melt-down properties of the burdens is very important for operation of the blast furnace. For high efficiency and stabilization of the blast furnace operation, it seems desirable to use the burdens which melt down rapidly at high temperature in the blast furnace.

A series of the experiments was carried out for clarifying the factors which govern the melt-down properties of the burdens, using various kinds of iron ores and agglomerates.

1) Melt-down behavior is closely related to amount and melting point of gangue and degree of pre-reduction. By the combination of these properties, either coagulation and fusion of slag formed from gangue or absorption of carbon in metal produced by reduction governs the melt-down behavior, and the temperature at beginning of melt-down is determined.

2) The burdens which have following properties melt down at high temperature and are desirable for the blast furnace operation.

Lump ore : comparative large amount (100~200 kg/t·Fe)  
and high melting temperature (>1600°C) of gangue.

Acid pellet : high melting temperature of gangue (>1600°C).

Sinter : basicity (CaO/SiO<sub>2</sub>) from 1.5 to 1.8.

Self-fluxing and cold bond pellets : melting point of gangue from 1500 to 1700°C.

## 1. 緒 言

数基の高炉の解体調査の結果<sup>1)~6)</sup>, 高炉内には装入鉱石類が軟化, 融着した融着層が存在し, その融着層群から形成される融着帯の位置および形状が高炉操業上きわめて重要な役割を持つことが明らかになった. しかしながら高炉融着帯に関する系統的な研究はまだ少なく, 融着帯の生成機構あるいは溶融滴下機構についてはほとんど解明されていない. HAVERKAMP<sup>7)</sup> や KONDO<sup>8)</sup> は鉄鉱石, 焼結鉱およびペレットについて溶融滴下時の状況および組成変化について研究を行ない, かなりの知見を得ているが, 融着および滴下を支配する要因について十分に説明できるまでには至っていない.

高炉の炉熱および脱硫などの高炉の安定性の面からみると, 融着帯は幅が狭く炉の下部で生成することが好ま

しく<sup>9)</sup>, そのためには鉄鉱石類は軟化から滴下までの温度幅が小さくしかも高温で滴下することが望ましいと考えられる.

本研究はこの点に着目し, 各種の鉄鉱石類の溶融滴下実験を行ない, 溶融滴下を支配する要因についておもに鉄鉱石類の性状および還元率との関連で検討したものである.

## 2. 実験方法

## 2.1 試料

実験に使用した鉄鉱石類は塊鉱石7種類, 酸性ペレット8種類, 焼結鉱7種類, 塩基性ペレット6種類およびコールドペレット6種類で, その化学組成を Table 1 にまとめて示す. ここで脈石量は  $(\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / \text{T} \cdot \text{Fe} \times 100$  で求め, 脈石融点は脈石量をCaO

\* 昭和 51 年 4 月, 10 月本会講演大会にて発表 昭和 53 年 6 月 26 日受付 (Received June 26, 1978)

\*\* 新日本製鉄(株)生産技術研究所 工博 (Process Technology R & D Laboratories, Nippon Steel Corp. 1-1 Edamitsu Yahatahigashi-ku Kitakyushu 805)

\*\*\* 新日本製鉄(株)君津製鉄所 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp.)

Table 1. Chemical composition of iron ores used (wt%).

Type	Brand	T.Fe	FeO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO/ /SiO <sub>2</sub>	Gangue amount (kg/t·Fe)	Melting point of gangue (°C)
Lump ore	A	62.60	0.22	0.05	8.72	0.81	0.05	0.01	154	1 610
	B	67.56	0.28	0.03	2.13	0.70	0.03	0.01	43	1 680
	C	61.99	12.04	1.08	4.65	1.25	1.14	0.23	131	1 280
	D	61.18	12.16	1.27	5.82	1.00	0.91	0.22	147	1 340
	E	66.88	0.50	0.47	2.32	0.98	0.05	0.20	57	1 470
	F	59.50	17.63	2.70	5.91	0.90	2.98	0.46	210	1 450
	G	58.30	22.23	2.59	5.93	1.42	3.00	0.44	222	1 450
Acid pellet	A	62.90	0.28	0.34	5.24	2.78	0.06	0.06	134	1 700
	B	63.00	0.14	0.64	4.61	2.30	0.08	0.14	121	1 600
	C	65.00	tr	0.07	3.32	2.51	0.43	0.02	97	1 680
	D	65.62	0.44	0.23	2.45	1.54	0.09	0.09	66	1 680
	E	60.62	0.64	3.62	5.83	0.81	0.27	0.62	174	1 370
	F	61.80	1.14	0.47	4.18	0.80	0.44	0.11	95	1 450
	G	64.89	5.00	0.37	8.35	0.74	0.65	0.11	79	1 370
	H	67.81	0.50	0.19	1.62	0.48	0.98	0.12	49	1 460
Sinter	DL Sinter A	55.68	7.19	12.46	5.50	1.92	0.79	2.27	371	1 930
	// B	56.53	8.12	9.64	4.97	2.13	1.03	1.94	314	1 880
	// C	56.88	9.29	10.73	5.82	2.18	1.28	1.85	352	1 860
	// D	55.60	10.12	10.78	6.11	2.59	1.11	1.76	370	1 820
	// E	57.79	7.18	8.81	5.82	2.16	0.77	1.50	304	1 630
	// F	58.57	8.13	7.72	5.52	2.11	1.00	1.40	279	1 550
	Experimental G	58.78	8.04	8.02	6.57	2.15	0.75	1.22	297	1 450
Self- fluxing pellet	A	65.60	tr	2.03	2.32	2.11	0.18	0.87	101	1 370
	B	62.57	0.14	4.30	3.24	1.72	0.31	1.32	153	1 500
	Experimental C	62.97	0.18	4.23	3.16	1.84	0.51	1.34	155	1 490
	// D	61.99	0.36	4.92	3.16	2.80	0.67	1.55	186	1 500
	// E	60.03	0.50	5.85	3.24	4.31	0.80	1.80	237	1 510
	// F	58.64	0.58	7.06	3.21	4.80	0.98	2.20	274	1 490
Cold bond pellet	Experimental A	56.76	19.26	8.03	4.27	1.02	0.91	1.88	251	1 910
	// B	58.64	23.52	5.43	5.19	1.01	0.90	1.05	214	1 390
	// C	59.52	23.62	5.98	3.59	0.87	0.35	1.65	181	1 850
	// D	57.05	0.22	6.89	4.42	2.20	0.14	1.56	239	1 660
	// E	49.17*1	9.52	9.43	6.32	6.71	0.77	1.49	472	1 530
	// F	47.66*2	22.06	8.79	4.42	6.50	1.55*3	1.99	446	1 480

\*1 M.Fe=5.28 \*2 M.Fe=4.95 \*3 TiO<sub>2</sub>=3.56

+SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO=100%に補正した成分について状態図<sup>11)</sup>から読みとつたものである。

## 2.2 予備還元実験

溶解帯滴下実験に供した鉄鉱石類は JIS 還元実験<sup>10)</sup>に準じた試験法で予備還元を行なつた。予備還元を用いた試料の粒度は焼結鉱、塊鉱石は 5~10 mm, ペレットでは平均粒度±1mm とし一回の処理量は 260g とした。実験条件は通常の場合は 90% 以上の予備還元率をうるため、還元ガスの組成は CO40%, N<sub>2</sub>60%, ガス流量 30 l/min とし、還元温度 1 000°C で 3 h の定温還元を行なつた。予備還元率を変化させる場合には、還元ガスは CO 30%, N<sub>2</sub> 70%の組成でガス流量を 15 l/min とし、還元温度は 900°C で還元時間を 30 min~3 h に変化させた。

## 2.3 溶解帯滴下実験

実験装置は Fig. 1 に示すとおりで、堅型タンマン炉を使用し下部に 8 mm φ の滴下孔を設けた内径 48 mm の黒鉛るつぼ中に試料を充填した。鉱石試料層の下部にはコークス層を設けたが、これは溶解金属の吸炭用、鉱石層の収縮時の目詰り防止および溶解物の下方への円滑な流れを保障するためのもので、コークス粒度は 10~15 mm とし層高を 15 mm とした。

試料は予備還元を行なつた鉱石類約 200 g とした。1 200°C までは N<sub>2</sub> 1 l/min, 1 200°C で 10 min 間保持し、荷重を 1.2 kg/cm<sup>2</sup> 加えて CO 2 l/min に切換え 1 550°C まで 5°C/min で昇温した。滴下物は 5~50°C の間隔で受皿に採取し、冷却後金属とスラグに分離し収率と化学組成を求めた。

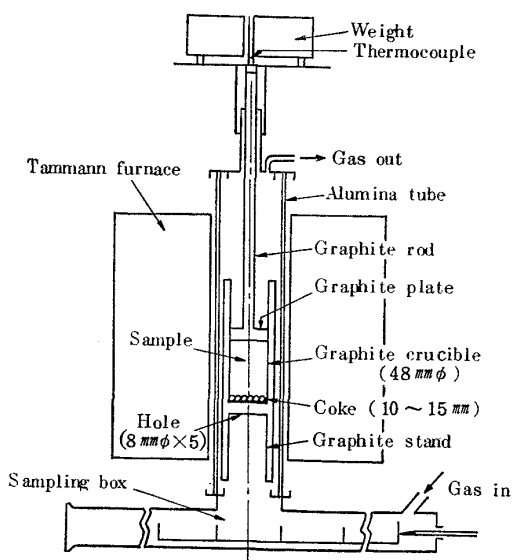


Fig. 1. Testing apparatus for melt-down property of iron ores.

### 3. 塊鉱石および酸性ペレットの溶融滴下状況

実験に供した塊鉱石および酸性ペレットは高炉で日常使用しているものである。この塊鉱石および酸性ペレットを脈石量と脈石融点に注目すると、1) 脈石量多く脈石融点の高いもの、2) 脈石量少なく脈石融点の高いもの、3) 脈石量多く脈石融点の低いものおよび4) 脈石量少なく脈石融点の低いものに大きく分類することができる。この分類にしたがって検討を進めた。また鉱石銘柄間の差異をはつきりさせるため、予備還元率は90%以上として溶解帯滴下実験を行なった。

#### 3.1 塊鉱石の溶融滴下性状

塊鉱石の溶解帯滴下実験における滴下スラグおよびメタルの収率曲線を Fig. 2 に示す。脈石量が多く脈石融点の高い塊鉱石Aの場合は1470°C からメタルが滴下を開始し、滴下はメタルだけでスラグは滴下しない。脈石量が少ない場合は高融点(塊鉱石B)も低融点(塊鉱石E)も1410°C からメタルが滴下し、やはりスラグは滴下しない。脈石量が多く脈石融点の低い塊鉱石C、DおよびGの場合は、まずスラグが続いてメタルが滴下を開始しているが、塊鉱石のみスラグ、メタルが同時に滴下している。塊鉱石CおよびDより脈石量の多い塊鉱石FおよびGのほうが滴下開始温度は低い。

Fig. 3 に滴下スラグの化学組成の代表例を示した。滴下スラグの化学組成はスラグの  $FeO$  の含有量および  $CaO + SiO_2 + Al_2O_3 + MgO = 100\%$  に補正したときの各成分の含有量と融点を示している。これらのデータによ

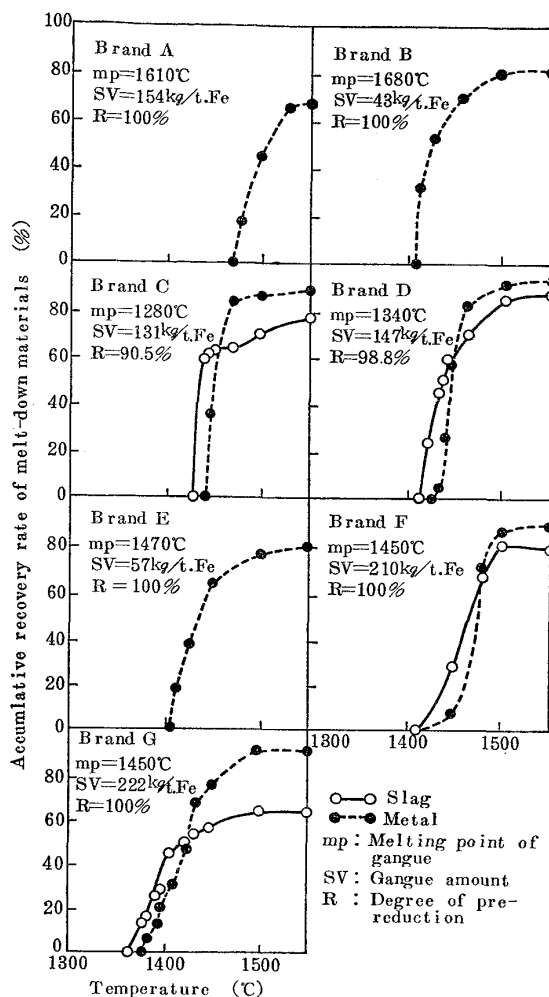


Fig. 2. Melt-down behavior of various kinds of lump ores.

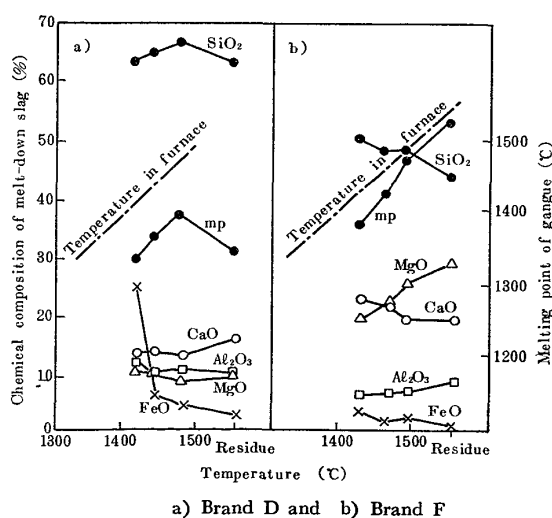


Fig. 3. Chemical composition of melt-down slag at lump ores.

り塊鉱石の溶融滴下挙動について検討してみる。

脈石量が多く脈石融点の高い鉱石(塊鉱石A)および脈石量少なくて脈石融点の高い鉱石(塊鉱石B)、低い

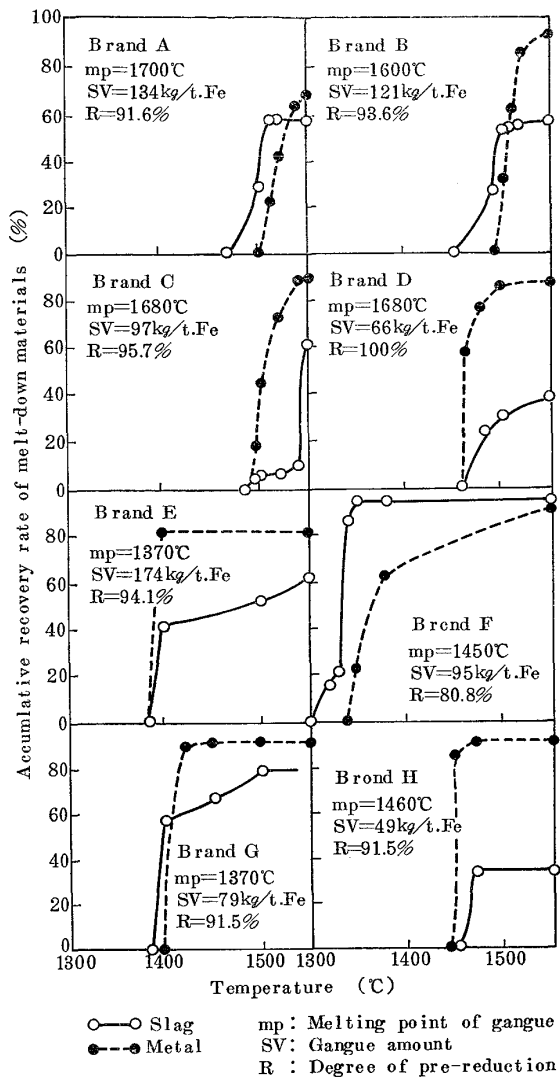
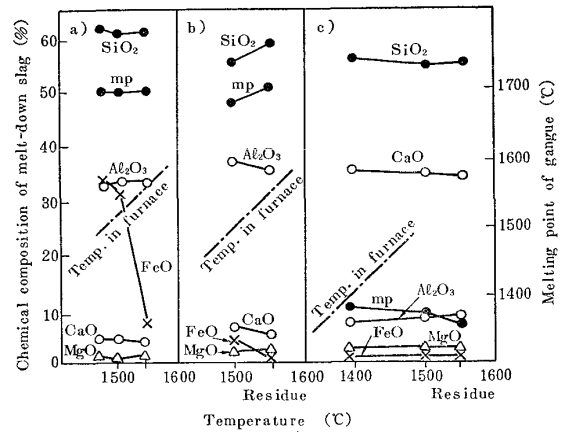


Fig. 4. Melt-down behavior of various kinds of acid pellets.

鉍石 (塊鉍石 E) はメタルだけが滴下しスラグは滴下しない。スラグあるいはメタルが溶融滴下するためには、溶融スラグあるいはメタルが凝集してある粒度の液滴となる必要がある。塊鉍石 A および B のように脈石融点が高い鉍石では、脈石が溶融せずしたがってスラグは凝集できない。塊鉍石 E のように脈石量が非常に少ないものでは、脈石が溶融しても脈石量が少ないため液滴となつて滴下する量までに凝集しにくい。このようにスラグが凝集しにくい鉍石ではスラグが滴下しないでメタルが先に滴下する。メタルは浸炭によつて融点の低下がおり、この溶融メタルが脈石から分離して凝集し滴下するが、メタルの凝集挙動は共存する脈石の性質によつて影響を受け、脈石の融点が高く、脈石量の多いものはメタルの浸炭および凝集が遅れ、滴下開始温度が高くなる。

脈石量が多く脈石融点の低いもののうち、比較的脈石量の少ない鉍石 (塊鉍石 C, D) はスラグが滴下を開始



a) Brand A, b) Brand D and c) Brand E

Fig. 5. Chemical composition of melt-down slag at various kinds of acid pellets.

した温度よりも、滴下したスラグの補正成分の融点のほうが低い。また FeO も含まれているので実際の融点はさらに低く、両者の温度差は大きくなる。このように滴下開始温度と滴下スラグの融点に差があるのは、脈石は低温で溶融しても脈石量が少ないためスラグの凝集が遅れて滴下量に達しないためであろうと考えられる。各温度での滴下スラグの化学組成は Fig. 3, a に示すように温度による不均一性はあまり認められない。脈石量が多くなると (塊鉍石 F および G) スラグの滴下開始温度と FeO を含めた滴下スラグの融点はほぼ同じになり、Fig. 3, b に示すように低融点部分から滴下を開始している。つまり、脈石量が多くなると低融点部分が先に滴下を開始する。

### 3.2 酸性ペレットの溶融滴下性状

酸性ペレットの溶解帯滴下実験における滴下スラグおよびメタルの収率曲線を Fig. 4 に示す。塊鉍石の場合とは異なり、酸性ペレットの場合はすべてスラグが滴下している。これは焼成工程が入るためスラグ成分が溶融されており、スラグが凝集しやすくなつているためと思われる。

脈石量が多く脈石融点の高い酸性ペレット A および酸性ペレット B の場合は 1450~1465°C からスラグが、続いてメタルが滴下している。脈石量が少なく脈石融点が高い酸性ペレット C および D の場合は 1455~1485°C からスラグとメタルが同時に滴下している。脈石量が少なく脈石融点の低い場合、酸性ペレット G は 1385°C からスラグが、酸性ペレット H は 1440°C からスラグとメタルが同時に滴下している。脈石量が多く脈石融点の低い場合は酸性ペレット E のみ 1330°C からスラグとメタルが同時に、酸性ペレット F は 1300°C からスラグが滴下している。

Table 2. Melt-down characteristics of lump ores and acid pellets.

Type	Classification	Brand	Gangue amount (kg/t·Fe)	Melting point of gangue (°C)	Temperature at beginning of melt-down (°C)	Melt-down product
Lump ore	1	A	Large ~150	High ~1 600	1 470	Metal
	2	B	Little ~40	High ~1 700	1 410	Metal
	3	C D F G	Large 130~220	Low 1 300~1 450	1 365~1 430	Slag or slag and metal coincidently
	4	E	Little ~60	Low ~1 450	1 410	Metal
Acid pellet	1	A B	Large 120~130	High 1 600~1 700	1 400~1 465	Slag
	2	C D	Little 60~100	High ~1 700	1 455~1 485	Slag and metal coincidently
	3	E F	Large 100~220	Low 1 370~1 450	1 300~1 390	Slag or slag and metal coincidently
	4	G H	Little 50~80	Low 1 350~1 450	1 385~1 440	Slag or slag and metal coincidently

滴下スラグの化学組成の代表例を Fig. 5 に示した。この結果から酸性ペレットの溶融滴下挙動について検討する。

脈石量が多く、脈石融点の高いもの（酸性ペレット A および B）は 4 成分の融点は 1 600~1 700°C と高いが、滴下スラグ中の FeO 含有量が約 30% と高いため、FeO を含めたスラグ融点が低下し、1 450~1 465°C からスラグが凝集滴下する。

脈石量が少なく、脈石融点の高いもの（酸性ペレット C および D）は脈石量が少ないためスラグが単独で凝集できず、また溶融もしない。したがってメタルの浸炭凝集が滴下開始温度を決定し、脈石量のより多い酸性ペレット C のほうが滴下開始温度が高い。また、メタルが滴下する際にスラグを付着して一緒に滴下する。

脈石量が少なく、脈石融点の低いものうち、脈石量の非常に少ないもの（酸性ペレット H）はスラグが単独凝集できず、メタルの浸炭凝集が滴下開始温度を決定するが、脈石は溶融するため酸性ペレット C および D よりも滴下開始温度が低い。またメタルが滴下する際にスラグを付着して一緒に滴下する。脈石量のやや多いもの（酸性ペレット G）はスラグが単独凝集して滴下する量にはなっているが凝集が遅れ、FeO を含めた融点よりも高い温度で滴下を開始する。

脈石量が多く、脈石融点の低いもの（酸性ペレット E および F）はスラグ滴下開始温度と FeO を含めたスラグ融点がほぼ同じであり、スラグが単独で凝集滴下する。酸性ペレット F は被還元性が悪く、滴下スラグの

FeO が高いのが認められた。

酸性ペレットの場合には滴下スラグの化学組成の変化から滴下スラグが不均一組成をしている例は見当らなかつたが、脈石融点が高い場合脈石量が多くなると不均一組成になり、低融点部分より先に滴下を開始する可能性がある。

### 3.3 塊鉱石および酸性ペレットの溶融滴下性状のまとめ

塊鉱石および酸性ペレットの溶融滴下性状を脈石量の多少、脈石融点の高低によつてまとめると Table 2 のようになる。ここで脈石量および脈石融点の分類基準となる数値は塊鉱石と酸性ペレットで異なっており、Table 2 の分類は相対的なものである。滴下開始温度が高いと滴下開始から終了までの温度幅が狭くなることから<sup>9)</sup> 好ましい装入物としては、塊鉱石の場合は脈石量が比較的多く (100~200 kg/t·Fe) 脈石融点の高いもの (>1 600°C)、酸性ペレットの場合は脈石融点の高いもの (>1 600°C) があげられる。

## 4. 焼結鉱の溶融滴下性状

### 4.1 試料

実験に用いた焼結鉱はほとんどが日常高炉に使用しているものであるが、低塩基度のもので 30 kg 試験焼結鍋による焼結鉱を 1 つ加えた。これらの焼結鉱を 90% 以上の予備還元を行なつて溶融滴下性状を検討した。焼結鉱は種々の添加剤を加えて焼成するため脈石量が多く、Table 2 のような分類にしたがうと“脈石量多”

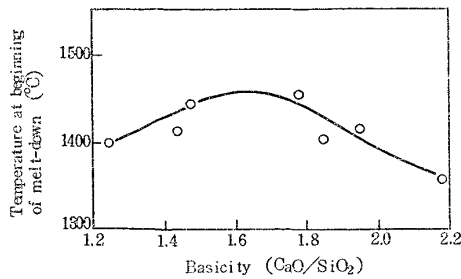


Fig. 6. Effect of basicity on the temperature at beginning of melt-down at various kinds of sinters.

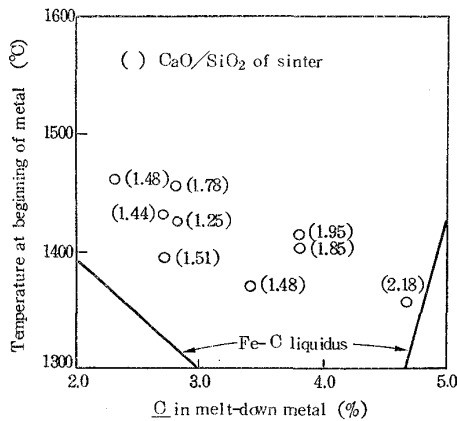


Fig. 7. Relation between the temperature at beginning of melt-down of metal and  $\underline{C}$  in melt-down metal.

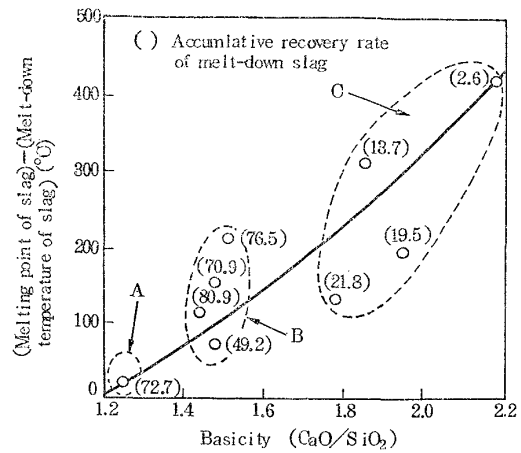
の項にすべて入ってしまう。そのため主として脈石融点に注目して検討するが、通常の焼結鉱の場合には  $\text{CaO/SiO}_2$  と  $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO} = 100\%$  としたときの脈石融点<sup>11)</sup>との間には強い相関があるので、ここでは脈石融点の代わりに  $\text{CaO/SiO}_2$  によつて検討をすすめる。

4.2 溶解帯滴下実験結果

焼結鉱の溶解帯滴下実験における滴下開始温度と焼結鉱の  $\text{CaO/SiO}_2$  との関係を図. 6 に示した。これから明らかのように滴下開始温度は  $\text{CaO/SiO}_2$  が 1.5~1.8 のとき極大値を示し、これより  $\text{CaO/SiO}_2$  が高くても低くても滴下開始温度は低下する。 $\text{CaO/SiO}_2$  が低いときはスラグから滴下を開始しスラグの滴下収率も高いが、 $\text{CaO/SiO}_2$  が 1.7 を越えるとメタルとスラグが同時またはメタルから滴下を開始し、スラグの収率が極端に悪くなった。 $\text{CaO/SiO}_2$  が 2.18 のときはほとんどがメタルでスラグはメタルに付着して非常にわずかに滴下するに過ぎないのが認められた。

4.3 溶融滴下挙動の検討

滴下スラグ、メタルの化学組成より焼結鉱の溶融滴下挙動について検討する。Fig. 7 にメタルの滴下開始温度と滴下メタル中  $\underline{C}$  の関係を示すが、メタルが滴下する時



A; fused slag melt down independently, B; half-fused slag melt down independently, C; half-fused slag is accompanied with melt-down metal.

Fig. 8. Effect of basicity on the temperature difference between the melting point of slag and melt-down temperature of slag.

点ではすでにメタルは完全に溶融していることがわかる。したがつてメタルの浸炭凝集を抑えることが滴下開始温度上昇につながることになる。すなわち  $\text{CaO/SiO}_2$  が低いときは脈石が溶融し、スラグ分離するのでメタルの浸炭凝集が進み、 $\text{CaO/SiO}_2$  が高すぎると脈石がまったく溶融しないためメタルの浸炭凝集が抑えられず、いずれも滴下開始温度が低下する。滴下開始温度を高く保つためには Fig. 6 に示したように  $\text{CaO/SiO}_2$  を 1.5~1.8 にするのが望ましい。

滴下開始温度と平均脈石融点とを比較すると、平均脈石融点よりも滴下開始温度は低く、 $\text{CaO/SiO}_2$  の上昇とともにその温度差は大きくなるのが認められた。このことからスラグは平均組成のものが最初から滴下するのではなく、脈石組成が不均一のため低融点部分が生じて先に滴下することがわかる。化学分析の結果、最初に滴下したスラグはるつぼに残つたスラグよりも  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が高く、 $\text{CaO/SiO}_2$  の低い低融点部分であることが判明した。また  $\text{CaO/SiO}_2$  が 1.7 を越えとるつぼに白色状の未溶融スラグが残る、これは  $\text{CaO/SiO}_2$  が 1.8 以上 (脈石融点  $> 1850^\circ\text{C}$ ) であることがわかつた。

この未溶融スラグを高炉内と同程度の量のコークスとともに  $1500^\circ\text{C}$  および  $1600^\circ\text{C}$  に加熱保持すると約 30 min 間で  $\text{CaO/SiO}_2$  が 0.2~0.3 低下するのが認められた。溶融帯滴下実験では共存するコークス量が少なく、保持時間も短いので  $\text{CaO/SiO}_2$  の低下はあまり起つていないが、高炉においては最終スラグの塩基度調整のため軟珪石や  $\text{SiO}_2$  の高い鉱石が装入されておりこれによつて滓化が進むが、これらの装入物がなくてもコークス灰分から還元揮発した  $\text{SiO}$  ガスとスラグ中の

FeO との反応により滓化が可能であることが明らかになった。したがって溶解帯滴下実験において粉末スラグがらつばに残つても滴下開始より終了までの温度幅を拡げることはないと思われる。

滴下スラグの融点と滴下温度との関係を Fig. 8 に示したが、これら滴下スラグの融点よりも滴下温度が低く  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  の上昇とともにこの温度差が大きくなっている。  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  が 1.2 程度では温度差はあまりなく、スラグが溶融して単独で滴下するが、  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  が 1.5 程度になると温度差が  $100\sim 200^\circ\text{C}$  となるので半溶融スラグが凝集して滴下するようになる。この場合には液、固相が混在したスラグとして滴下するものと推定される。  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  が 1.7 を越えるとスラグはほとんど溶融せず、したがって単独では凝集滴下できなく、メタルの浸炭凝集が進み滴下する際にスラグを付着して一緒に滴下する。したがってこの場合にはスラグの滴下収率は低くなる。

## 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

### 5.1 試料

実験に供した塩基性ペレットおよびコールドペレットは Table 1 に示したとおりで、塩基性ペレットは日常高炉に使用しているもの 2 種類および塩基度の異なる試験ペレット 4 種類とし、コールドペレットはセメントを結合剤として用いたもの 5 種類と  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  を用いて  $\text{CO}_2$  により硬化させたもの 1 種類とした。ここでコールドペレット E および F はダスト類を主体にこれに鉄粉を加えたものである。

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やセメントなどを用いるため酸性ペレットに比べると脈石量が多く、また原料にダスト類のような鉄分の低いものを用いると脈石量が非常に多くなる。塩基性ペレットは塩基度を上昇させるために石灰石を添加するので、脈石融点が高く脈石量が多くなるのが普通であるが、塩基性ペレット A のように石灰石添加量が少ないと脈石融点が同一の原料より製造した酸性ペレットよりも低くなることもある。これに対してコールドペレットは原料鉱石および結合剤にいろいろな種類があるため、脈石組成はかなり異なり、脈石融点にもかなりの幅がある。これらの塩基性およびコールドペレットを 90% 以上の予備還元を行ない、溶解帯滴下実験を行なった。

### 5.2 溶融滴下挙動の検討

塩基性ペレットおよびコールドペレットの滴下開始温度と脈石融点との関係を Fig. 9 に示した。これから明

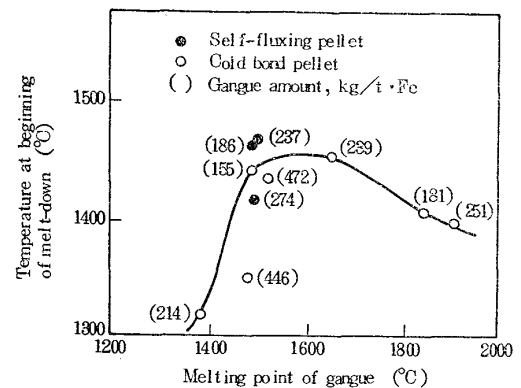


Fig. 9. Effect of melting point of gangue on the temperature at beginning of melt-down at various kinds of self-fluxing and cold bond pellets.

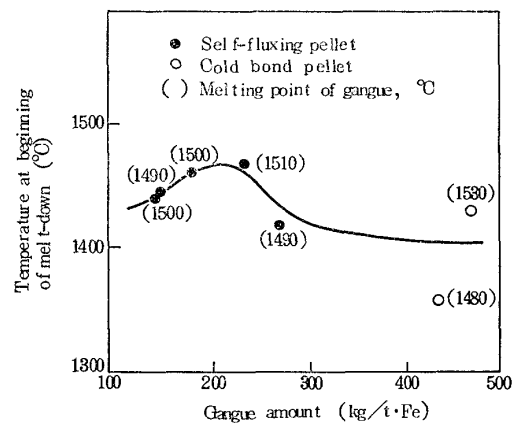


Fig. 10. Effect of gangue amount on the temperature at beginning of melt-down at various kinds of self-fluxing and cold bond pellets with almost same melting point of gangue.

らかなように脈石融点が  $1500\sim 1700^\circ\text{C}$  のときの滴下開始温度が最も高く、この範囲より脈石融点が高くては低くても滴下開始温度が低下するのが認められる。また、脈石量が多いと滴下開始温度が低下する傾向がある。脈石融点が  $1500^\circ\text{C}$  近傍のものだけを取り上げて脈石量と滴下開始温度との関係を見ると Fig. 10 のようになり、脈石量が  $150\sim 250\text{ kg/t}\cdot\text{Fe}$  のとき滴下開始温度が最も高くなるのが認められた。

このように脈石融点および脈石量によつて滴下開始温度が最大となる範囲が存在するのはつぎの理由によるものと考えられる。脈石融点が  $1500^\circ\text{C}$  以下のときは脈石が溶融しスラグが分離するためメタルの浸炭凝集が進み、また脈石融点が  $1700^\circ\text{C}$  以上では脈石がほとんど溶融しないためメタルの浸炭凝集を抑えられず、いずれも滴下開始温度が低下する。また脈石量が  $250\text{ kg/t}\cdot\text{Fe}$  以上のように非常に多い場合には脈石中の低融点部分が

凝集して先に滴下するため滴下開始温度が低下するし、150 kg/t·Fe 以下のように脈石量が少ないときは金属の浸炭凝集を抑える効果が小さくなるため滴下開始温度が低下する。

滴下スラグの融点とスラグ滴下温度を比較すると、滴下スラグの融点のほうがスラグ滴下温度よりも高く、脈石融点が高いほどこの温度差は大きくなるのが認められた。この傾向は焼結鉱の場合と同様であり、脈石融点が 1700°C 以下ではこの温度差はたかだか 100°C で溶融または半溶融状態のスラグが単独で滴下するが、脈石融点が 1700°C 以上になると温度差が大きくなり脈石はほとんど溶融せず、したがってスラグが単独凝集できず金属の浸炭凝集により金属が滴下するようになる。この際金属にスラグが付着して滴下するためスラグの滴下収率は低くなるのが認められた。

## 6. 溶融滴下性状におよぼす予備還元の影響

高炉解体調査の結果、滴下スラグの FeO 含有量が非常に少ないことから<sup>3)5)</sup>、これまでは滴下スラグ中の FeO が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てきたが、高炉内でのガス流れが偏ったり高炉不調のとき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。実験に用いた試料は Table 1 に示したものと同一である。

### 6.1 焼結鉱の溶融滴下性状と予備還元率

Fig. 11 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、予備還元率によつて滴下開始温度に極大値があり、予備還元率が高すぎると滴下開始温度がかえつて低下するのが認められた。CaO/SiO<sub>2</sub> の高いものほど高予備還元側の低下度合が大きく、CaO/SiO<sub>2</sub> が 1.22 になると低下しない。この理由はつぎのように考えられる。CaO/SiO<sub>2</sub> が極端に高い場合は脈石がまったく溶融しないので、この状態では金属の浸炭凝集を抑える効果が小さいが、予備還元率が低下しスラグ中に FeO が入つて融点が低下すると粘性の高いスラグによつて金属の浸炭凝集を抑える効果がでてくるため滴下開始温度が上昇してくる。予備還元率が低くなり過ぎると融点が低下しすぎて滴下温度は再び低下することになる。滴下開始温度の極大値は CaO/SiO<sub>2</sub> の高いほど高くなり、CaO/SiO<sub>2</sub> の高いほど極大値の位置が予備還元率の低い側に移る。

金属滴下開始温度に対する予備還元率の影響を Fig. 12 に示した。CaO/SiO<sub>2</sub> が 2.27 と高い場合には予備還元率 80% 以下では 1500°C と高く、金属中 C も

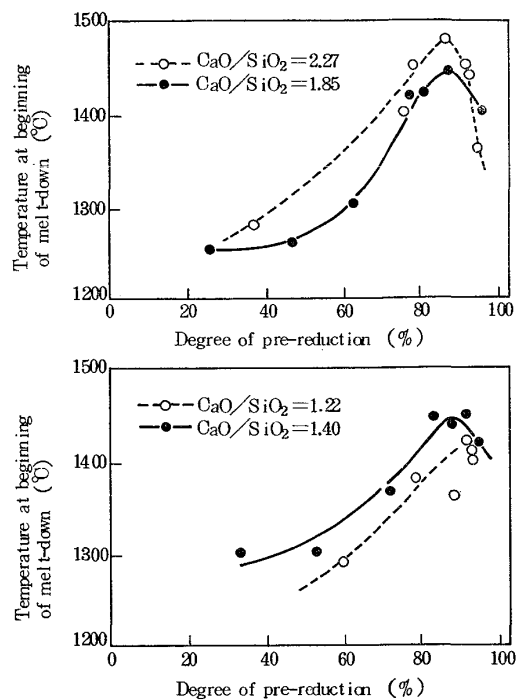


Fig. 11. Effect of the degree of pre-reduction for sinters on the temperature at beginning of melt-down.

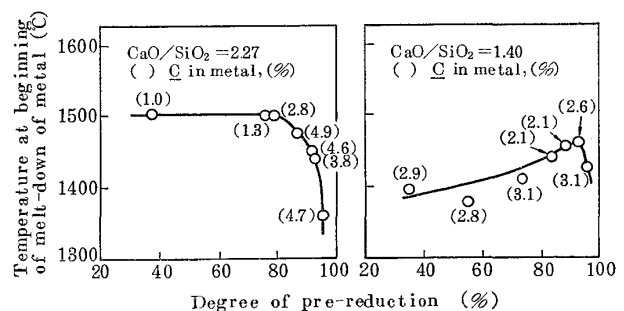
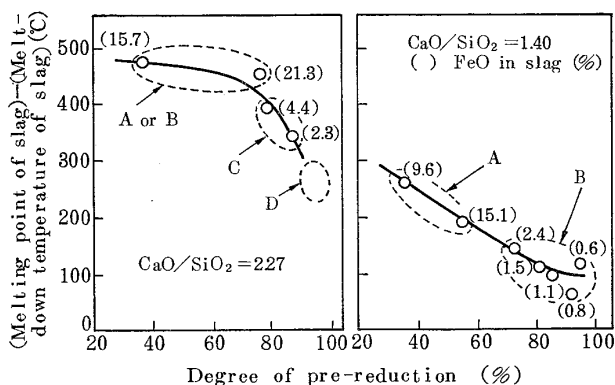


Fig. 12. Effect of the degree of pre-reduction for sinters on the temperature at beginning of melt-down of metal.

1%台と低い。予備還元率が 80% 以上では予備還元率の上昇とともに滴下温度も低下し、滴下金属中 C も高くなる。CaO/SiO<sub>2</sub> が低下し 1.40 程度になると滴下開始温度が最大となる予備還元率の幅が狭くなり、かつ予備還元率の高い側に移ってくる。このように CaO/SiO<sub>2</sub> が極端に高い場合は予備還元率の低い範囲でかなり広範囲にわたつて未溶融脈石が FeO と結び付いて半溶融となるため、金属の浸炭凝集を抑えて滴下温度を高める効果がある。CaO/SiO<sub>2</sub> が低下するにつれてこの予備還元率の範囲は狭くなり、かつ予備還元率が高い側に移り滴下開始温度も低下してくる。CaO/SiO<sub>2</sub> が 1.2 になるとこの効果はまったくなくなり、予備還元率の高いほど滴下開始温度は高くなるが、滴下温度自体も CaO/SiO<sub>2</sub>





A; fused slag melt down independently, B; half-fused slag melt down independently, C; half-fused slag is accompanied with melt-down metal, D; metal melt down alone.

Fig. 13. Effect of the degree of pre-reduction for sinters on the temperature difference between the melting point of slag and melt-down temperature of slag.

の高い場合に比べて低くなる。

スラグ滴下温度と滴下スラグ融点との温度差と予備還元率との関係を Fig. 13 に示した。CaO/SiO<sub>2</sub> が 2.27 の場合は滴下スラグ融点に対し滴下温度はかなり低く、予備還元率が低いほど温度差は大きくなる。予備還元率が非常に低い場合はスラグ中の (FeO) も高く、スラグが溶融または半溶融して単独で滴下するが、予備還元率が高くなるにつれてスラグ中の (FeO) が少なくなるためスラグ単独では滴下するに至らず、メタルが浸炭凝集して滴下する際に付着して一緒に滴下するようになり、予備還元率が非常に高くなるとスラグは滴下せずメタルのみ滴下する。CaO/SiO<sub>2</sub> が低くなるにしたがつてメタル単独での滴下、メタルに付着したスラグの滴下がなくなり、スラグが単独で滴下するようになる。またスラグ滴下温度と滴下スラグ融点との温度差は小さくなる。すなわち CaO/SiO<sub>2</sub> が極端に高く、予備還元率が非常に低い場合は未溶融脈石が FeO と結びついて半溶融スラグを作り単独で凝集滴下するが、予備還元率が高くなるにつれ FeO が少なくなるためスラグが単独で滴下しなくなり、メタルが浸炭凝集する際に付着して一緒に滴下するようになる。したがって滴下スラグ融点とスラグ滴下温度との差は非常に大きい。また予備還元率が高くなると脈石はもはや溶融せず、メタルのみ滴下するようになる。CaO/SiO<sub>2</sub> が低下するにつれて温度差は小さくなり、スラグが単独で滴下する予備還元率の範囲が高い側に移っていき CaO/SiO<sub>2</sub> が 1.2 程度になるとスラグが単独で溶融滴下するだけとなり、温度差も 100°C 以下になる。

予備還元率が低下することにより滴下性状が悪化する

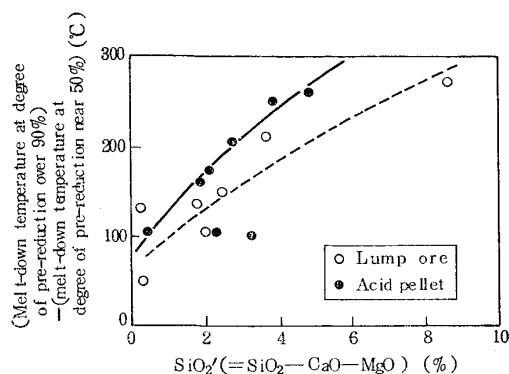


Fig. 14. Effect of gangue composition of lump ores and acid pellets on the temperature at beginning of melt-down.

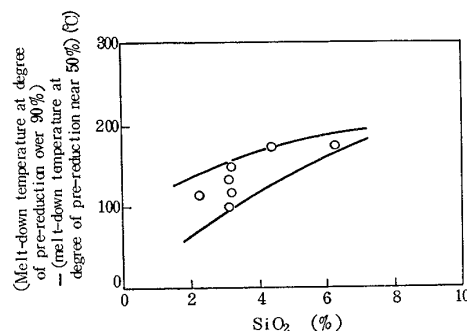


Fig. 15. Effect of gangue composition of self-fluxing and cold bond pellets on the temperature at beginning of melt-down.

のは低融点の鉄-シリケートが生成するため、悪化の程度はその生成しやすさと生成量によつてきまる。しかし焼結鉱の CaO/SiO<sub>2</sub> が高い場合は予備還元率を低下させることによつて滴下温度は上昇するが、FeO 含有量の高いスラグが滴下するため高炉の炉熱面からは好ましくなく、滴下温度上昇対策としては CaO/SiO<sub>2</sub> を 1.5 ~ 1.8 に調整することが望ましいといえる。

### 6.2 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溶融滴下性状と予備還元率

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予備還元率 90% 以上と 50% 程度の試料について溶解帯滴下実験を行ない、予備還元率の影響を検討した。ここで低予備還元試料は目標還元率を 50% として還元時間により調整したが、35~65% にばらついた。

鉄鉱石、および酸性ペレットの場合は予備還元率の低下によりいずれも滴下開始温度が低下した。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<sub>2</sub>' = SiO<sub>2</sub> - CaO - MgO との関係は Fig. 14 のようになる。ここで SiO<sub>2</sub>' は鉄鉱石および酸性ペレットの脈石中の SiO<sub>2</sub> が MgO, CaO などの塩基性成

分のほかに未還元 FeO との結び付きやすさを相対的に示すために定めた値である。Fig. 14 の結果から  $\text{SiO}_2'$  の多いものほど予備還元の影響は大きく、鉄-シリケート生成による脈石融点の低下が滴下開始温度の低下の主要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が異なるが、焼成した酸性ペレットのほうがスラグ化しやすいためであろう。

塩基性ペレットおよびコールドペレットの場合も  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  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開始温度が低下した。 $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  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。Fig. 15 は  $\text{SiO}_2$  ( $\text{SiO}_2'$  は負となるので単に  $\text{SiO}_2$  とした) と滴下開始温度の低下度合との関係を示したもので、 $\text{SiO}_2$  の多いほど予備還元率の低下による影響が大きくなることがわかる。以上のように塊鉱石およびペレットの予備還元率による滴下性状の悪化は低融点の鉄-シリケートの生成しやすさと生成量によることがわかる。

## 7. 結 論

高炉を安定に操業するためには高温で急速に溶解する装入物が好ましい。この観点から各種の鉄鉱石類の溶融滴下実験を行ない、原料性状と溶融滴下挙動との関連について検討した。

(1) 鉄鉱石類の溶融滴下は脈石量、脈石融点および予備還元率と密接な関係があり、この組合せによつてメタル浸炭あるいはスラグ溶融のいずれかが律速になり滴下開始温度がきまる。

(2) 塊鉱石では脈石量が多く脈石融点の高いものが、酸性ペレットでは脈石融点の高いものが滴下開始温度が高く良好である。

(3) 焼結鉱は脈石量が多く脈石融点が高いため一般には滴下開始温度は高い。塩基度が上昇すると脈石融点も上昇して滴下開始温度も高くなるが、塩基度があまり高くなりすぎるとスラグの凝集が困難となつて、メタルが先に滴下するいわゆるメタル浸炭律速になり滴下開始

温度はかえつて低下する。焼結鉱の場合は塩基度 ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ) が 1.5~1.8 のとき滴下温度が最大になる。

(4) 塩基性ペレット、コールドペレットでは脈石量が 150~250 kg/t·Fe、脈石融点が 1500~1700°C のとき滴下開始温度が最大になる。

(5) 溶融滴下におよぼす FeO の影響を予備還元率を変えて検討したところ、予備還元率の低いとき、すなわち FeO の高いスラグでは滴下開始温度が低下するのが認められた。高塩基度原料では予備還元率によつて滴下開始温度に極大値がある。これは FeO によるスラグ粘性の低下によりメタルの単独凝集を抑える効果が生じるためである。

## 文 献

- 1) K. KODAMA and S. HASHIMOTO: Proc. ICSTIS, Suppl. Trans. ISIJ, (1971), 11 P. 112
- 2) V. N. MURAV'EV, N. I. EFANOVA, I. D. BALON, I. B. BUKLAN, and N. M. MISHCHENKO: *Stal in Eng.*, (1970), P. 591
- 3) 神原健二郎, 萩原友郎, 佐々木稔, 奥野嘉雄, 片山力, 吉沢謙一: 鉄と鋼, 59(1973), A77
- 4) 梶川脩二, 隅田昇, 吉越英之, 福島勤, 鴨志田友男, 福山辰夫: 鉄と鋼, 59(1973), A81
- 5) 佐々木稔, 斧勝也, 鈴木明, 奥野嘉雄, 吉沢謙一, 中村隆: 鉄と鋼, 62(1976), p. 599
- 6) 佐々木寛太郎, 羽田野道春, 渡辺雅男, 下田輝久, 横谷勝弘, 伊東孝夫, 横井毅: 鉄と鋼, 62(1976), p. 580
- 7) K. D. HAVERKAMP und H. P. SCHULZIN: *Arch. Eisenhüttenw.*, 39(1968), P. 319
- 8) S. KONDO, N. SUGATA, and T. SUGIYAMA: Proc. ICSTIS, Suppl. Trans. ISIJ, 11(1971), p. 36
- 9) 斧勝也, 肥田行博, 重見彰利, 児玉惟孝: 鉄と鋼, 61(1975), p. 777
- 10) JIS M8713-1972, 「鉄鉱石の還元試験方法」, 日本規格協会
- 11) E. F. OSBORN and A. MUAN: [Phase Equilibria among Oxides in Steelmaking], the Pennsylvania State Univ., (1964)