

© 1986 ISIJ

高炉操業解析および焼結鉱品質設計への 高温性状試験結果の適用

技術報告

望月 顕*・村井達典*・川口善澄*・岩永祐治*²

Application of High Temperature Properties Test Results to Blast Furnace Operation Analysis and Quality Design of Sinter

Ken MOCHIZUKI, Tatsunori MURAI, Yoshizumi KAWAGUCHI and Yuji IWANAGA

Synopsis:

Heating-up reduction tests under load were carried out for investigating high temperature properties by using various kinds of sinter made by sintering pot. On the basis of test results, it was clarified that high temperature properties of sinter could be primarily evaluated by its cold strength and reduction properties at low temperatures. The close relation between high temperature properties of sinter and blast furnace performance was confirmed from the operation analysis of actual blast furnace.

Moreover, quality design of sinter for blast furnace operation is described. The direction of improvement of sinter quality was discussed.

1. 緒 言

高炉装入物のうち焼結鉱は一般的にその配合比率が高く、品質の良否は高炉操業に大きく影響する。したがって焼結鉱品質に対する要求は非常に強いものとなっている。

焼結鉱品質は現段階では、常温強度、還元粉化指数および還元指数等によつて日常管理され、これらの品質の高炉操業におよぼす影響についての認識は一般的になっている¹⁾。一方、炉内状況が明らかになるにつれ炉下部高温域における装入物性状に関心が移り、焼結鉱についても高温性状が重要視されてきている^{2)~6)}。

ところで、焼結鉱の品質設計をするためには、焼結鉱品質を示す各指標が高炉内での挙動にとつてどのような意味を持っているのかを十分に把握しておく必要がある。また、炉上部の比較的低温部での挙動を表す品質と高温域での挙動との相互の関連を明らかにし、高炉操業上から要求される品質とその重要性の順位を示す必要がある。

本報告では、かかる観点より各種焼結鉱を試料とした昇温荷重還元実験をおこない、高温性状を支配する影響因子を明らかにするとともに、実機焼結鉱の高温性状を測定して高炉操業との関連性を調査した。また、このよ

うな結果に基づいて、高炉操業上要求される焼結鉱品質とそのレベル設定法について述べる。

2. 昇温荷重還元実験

2.1 供試焼結鉱

実験に用いた焼結鉱の化学組成、常温性状および低温還元性状を Table 1 に示す。焼結鉱 a~v は試験鍋で製造した焼結鉱、A~W は実機製造の焼結鉱である。

実験 No. 1~22 は高温性状を支配する要因を抽出しその影響度を把握するための実験で、そのうち実験 No. 1~3 では常温強度の影響、実験 No. 4~7 では還元性の影響、実験 No. 12~22 では脈石組成の影響を調べた。なお、実験 No. 18~22 では MgO 源として蛇紋岩+ドロマイトを使用し、その配合量によつて MgO 含有量を変化させ、その影響度を調査した。さらに実験 No. 23~45 では実炉に装入された焼結鉱の高温性状調査をおこなつた。

2.2 実験方法

実験は溶融滴下装置⁷⁾を用いて次の手順で実施した。試料を黒鉛るつぽ中に層高一定 (100 mm) となるように充填し、試料上部に置いた黒鉛ロストルを介して荷重をかける。荷重は 900°C までは毎分 4.54 g/cm² の比率で上昇させ、900°C 以上では 1 kg/cm² 一定とする。

昭和 57 年 9 月本会講演大会にて発表 昭和 60 年 12 月 9 日受付 (Received Dec. 9, 1985)

* 住友金属工業(株)小倉製鉄所 (Kokura Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1 Konomimachi Kokurakita-ku Kitakyushu 802)

*² 住友金属工業(株)総合技術研究所鉄鋼研究センター 工博 (Iron & Steel Research Center, Technical Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

Table 1. Characteristics of samples and experimental results.

Exp. No	Kind	Chemical composition (%)						C/S (-)	V _g (kg/t.Fe)	TI (%)	RDI (%)	RI (%)	T _{mg} (°C)	T ₁ (°C)	γ ₁ (%)	R ₁ (%)	R ₂ (%)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	Melting			Gas flow resistance at high temperatures (SI unit°C)
		T.Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO														Beginn-ing	End	Range	
1	a	56.4	4.27	6.57	2.00	10.30	0.57	1.57	345	72.1	31.8	5.89	1703	955	64	4.27	8.05	1190	1380	1475	1505	1600	95	2075×10 ⁵
2	b	56.6	5.20	6.55	2.00	10.29	0.57	1.57	343	75.2	30.6	6.05	1703	960	64	4.05	7.96	1190	1385	1480	1500	1610	110	2100
3	c	56.8	5.25	6.56	2.00	10.30	0.57	1.57	342	77.4	31.7	5.91	1703	970	65	4.34	7.86	1200	1390	1495	1500	1625	125	2092
4	d	57.7	7.76	5.70	1.98	9.85	0.50	1.73	313	78.3	25.1	5.27	1803	990	68	3.95	7.39	1180	1385	1500	1500	1625	105	1543
5	e	57.6	6.76	5.49	1.89	9.65	0.52	1.76	304	79.2	25.7	5.12	1821	995	67	4.02	7.37	1200	1390	1480	1530	1620	90	1575
6	f	57.5	7.19	5.68	2.02	9.81	0.55	1.73	314	77.5	25.4	5.44	1803	1000	62	3.99	7.53	1180	1395	1495	1530	1625	95	1319
7	g	57.4	5.39	5.64	2.07	9.70	0.48	1.72	312	77.0	25.7	5.66	1796	985	65	3.89	8.11	1190	1380	1470	1540	1625	85	1166
8	h	56.7	6.18	6.53	1.99	10.26	0.57	1.57	341	73.6	28.3	6.47	1703	980	59	4.95	8.15	1220	1400	1475	1495	1630	135	1530
9	i	56.6	3.22	6.55	2.00	10.28	0.57	1.57	343	70.9	32.2	6.48	1703	955	63	4.42	8.09	1200	1385	1475	1505	1610	105	1990
10	j	56.3	4.31	6.58	2.01	10.33	0.57	1.57	346	70.7	35.6	6.44	1703	955	64	4.21	8.01	1205	1390	1475	1510	1625	115	1980
11	k	56.4	4.74	6.57	2.00	10.30	0.57	1.57	345	72.6	32.1	6.41	1703	980	65	4.65	8.15	1210	1390	1475	1500	1625	125	1765
12	l	57.4	5.30	5.19	1.98	9.29	1.66	1.79	316	77.2	36.6	6.43	1840	1020	63	4.52	8.35	1180	1380	1460	1530	1570	40	820
13	m	56.7	4.96	5.46	1.78	9.74	1.58	1.78	327	76.0	32.9	6.05	1834	985	60	4.18	7.81	1150	1260	1470	1520	1580	60	1169
14	n	56.5	4.58	5.84	1.78	10.40	1.57	1.78	347	75.5	29.9	5.93	1834	970	58	4.01	7.08	1245	1400	1480	1530	1580	50	1530
15	o	57.2	7.90	5.44	1.66	9.28	1.86	1.71	319	79.3	34.0	6.11	1790	990	66	3.57	7.85	1225	1390	1470	1515	1575	60	1650
16	p	56.7	5.68	5.70	1.38	9.43	1.72	1.65	322	79.5	30.3	5.94	1753	970	75	3.88	7.45	1250	1410	1450	1520	1610	90	1775
17	q	56.5	5.98	5.83	1.55	9.85	1.77	1.69	336	78.7	27.6	5.63	1778	980	64	3.60	6.60	1210	1350	1450	1510	1575	65	1692
18	r	57.1	5.6	5.59	1.86	9.17	0.70	1.64	303	5.35	33.1	6.29	1747	960	68	4.01	7.32	1120	1370	1455	1490	1610	120	1320
19	s	55.5	5.7	5.35	1.59	8.83	0.51	1.65	293	5.36	33.8	6.27	1753	960	64	3.78	8.01	1140	1340	1450	1485	1615	130	1340
20	t	55.5	5.3	5.76	1.95	9.62	1.00	1.67	330	5.27	27.5	6.12	1765	970	65	3.88	7.38	1110	1360	1450	1495	1595	100	1315
21	u	55.6	5.5	5.64	1.73	9.25	1.67	1.64	329	5.58	22.7	5.97	1747	1000	59	4.69	7.76	1180	1380	1430	1510	1590	80	1150
22	v	55.6	5.7	5.68	2.16	9.14	1.57	1.61	334	5.34	23.9	5.99	1728	1000	63	4.17	7.52	1170	1380	1430	1510	1595	85	1180
23	A	56.7	4.62	5.76	1.81	9.95	1.18	1.73	330	7.68	41.9	6.11	1803	1005	70	4.05	7.87	1175	1300	1445	1530	1570	40	2154
24	B	57.0	4.66	5.51	1.90	9.80	1.12	1.78	322	7.51	41.4	6.08	1834	1005	75	4.62	7.64	1150	1250	1430	1525	1580	55	2657
25	C	56.7	4.54	5.61	1.84	10.02	1.18	1.79	327	7.73	41.6	6.11	1840	1005	65	4.34	7.84	1280	1415	1490	1530	1590	60	1370
26	D	57.1	4.74	5.37	1.60	9.57	1.14	1.79	309	7.31	36.0	6.08	1840	1025	63	3.78	8.06	1315	1440	1500	1525	1590	65	1009
27	E	56.7	4.48	5.59	1.68	9.92	1.40	1.78	328	7.34	38.4	5.71	1834	1040	72	3.42	6.69	1260	1400	1475	1525	1595	70	1577
28	F	56.2	4.51	5.44	1.73	9.19	1.61	1.69	320	7.48	39.0	6.21	1778	955	65	5.05	6.74	1175	1325	1470	1515	1620	105	1770
29	G	57.2	5.75	5.10	1.95	9.23	1.28	1.81	307	7.83	37.3	5.99	1852	1020	61	4.42	7.27	1175	1330	1470	1525	1575	50	1232
30	H	56.1	4.15	5.46	1.96	10.11	1.43	1.85	338	7.50	39.4	5.96	1877	995	62	4.17	7.53	1210	1380	1430	1545	1620	75	1174
31	I	56.6	4.70	5.52	1.98	9.51	1.41	1.72	325	7.36	33.7	5.67	1796	1010	59	4.37	7.31	1225	1375	1460	1520	1620	100	1317
32	J	56.8	4.18	5.35	1.92	9.61	1.29	1.80	320	7.49	37.2	6.14	1846	1010	61	4.07	8.07	1225	1350	1475	1520	1620	100	1263
33	K	56.9	4.16	5.32	1.83	9.53	1.29	1.79	316	7.45	36.4	6.25	1840	1020	61	4.83	7.94	1245	1380	1475	1540	1620	80	1183
34	L	57.0	3.86	5.30	1.85	9.58	1.23	1.81	315	7.38	38.0	6.17	1852	1000	60	4.65	8.61	1180	1350	1495	1530	1620	90	1030
35	M	57.0	4.05	5.28	1.84	9.47	1.18	1.79	312	7.18	40.0	6.20	1840	1005	62	4.20	8.17	1225	1380	1480	1535	1620	85	1191
36	N	56.4	7.33	5.82	1.94	9.60	1.04	1.65	326	7.89	32.9	6.12	1753	990	60	4.69	7.82	1260	1390	1475	1525	1625	100	1696
37	O	56.3	7.04	5.94	1.96	9.61	1.03	1.62	329	7.90	33.3	6.10	1734	990	62	4.02	7.98	1210	1380	1465	1505	1620	115	1890
38	P	56.6	6.68	5.77	1.90	9.44	1.03	1.64	320	7.89	33.4	6.31	1747	985	63	4.19	7.98	1195	1385	1470	1505	1600	95	1833
39	Q	56.5	6.75	5.73	1.95	9.46	1.07	1.65	322	7.93	35.2	6.24	1753	990	64	4.75	7.67	1210	1380	1465	1515	1605	90	1909
40	R	56.3	6.18	5.94	1.98	9.68	1.03	1.63	331	7.99	31.4	6.43	1741	970	61	4.83	8.24	1200	1390	1470	1510	1620	110	1638
41	S	56.3	5.89	5.82	1.98	9.61	1.04	1.65	328	7.97	31.5	6.51	1753	970	61	4.65	8.15	1170	1340	1485	1510	1620	110	1654
42	T	56.5	5.53	5.65	1.97	9.42	1.00	1.67	319	7.92	34.7	6.52	1765	960	57	5.19	8.27	1130	1400	1475	1510	1620	110	1452
43	U	56.6	6.04	5.76	2.00	9.49	1.00	1.65	322	7.89	34.3	6.56	1753	990	61	4.98	8.20	1220	1380	1480	1510	1610	110	1506
44	V	56.3	6.12	5.44	1.86	10.31	1.39	1.89	338	7.46	36.5	6.20	1902	1010	57	4.38	7.96	1190	1380	1500	1530	1590	60	1081
45	W	56.3	4.40	5.40	1.83	10.17	1.34	1.88	333	7.55	40.6	5.88	1896	1005	62	3.95	7.71	1170	1350	1500	1505	1610	105	1331

Fig. 1 に示す温度、ガス組成 (50 Nl/min) 下で昇温還元し、焼結鉍層の圧損、層厚の変化および出口のガス組成の経時変化を測定する。焼結鉍層の下部には粒度 10 ~ 15 mm、層高 30 mm のコークス層を設けた。のぞき窓より滴下状況を観察し、滴下物はサンプリング装置により連続採取される。採取物を滴下温度ごとに分割し、粉碎、磁選によりメタルとスラグに分離した後、それぞれの重量を測定して化学分析に供した。

3. 実験結果と考察

3.1 高温部通気性に影響する因子の選定とその評価

Fig. 2 に示した通気抵抗と温度との関係から、(1)式

より算出される KS を高温部通気抵抗指数と定義し、実験結果を一括して Table 1 に示す。なお、以下 JIS 還元率を RI 、還元粉化指数を RDI 、常温強度を TI で表す。

$$KS = \int_{1000}^{t_{mf}} K(t) dt \dots\dots\dots (1)$$

$$K(t) = \frac{AP/H}{\rho_g^{1-\beta} \cdot \mu_g^\beta \cdot u_g^{2-\beta}} \dots\dots\dots (1)'$$

KS : 高温部通気抵抗指数 (SI 単位・°C)

t : 温度 (°C)

$K(t)$: 温度 t における通気抵抗指数 (SI 単位)

t_{mf} : 滴下終了温度 (°C)

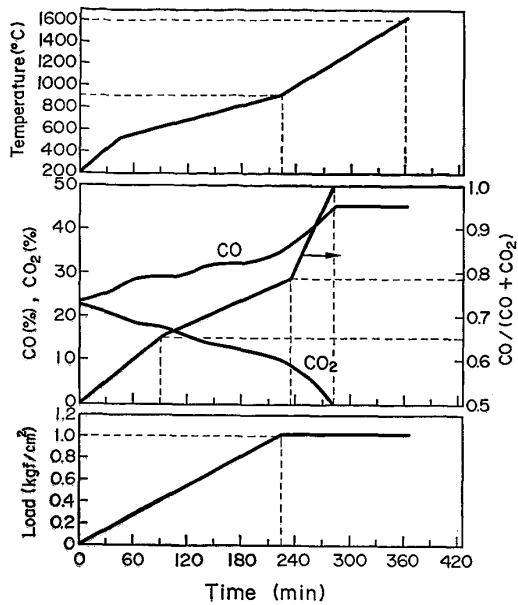
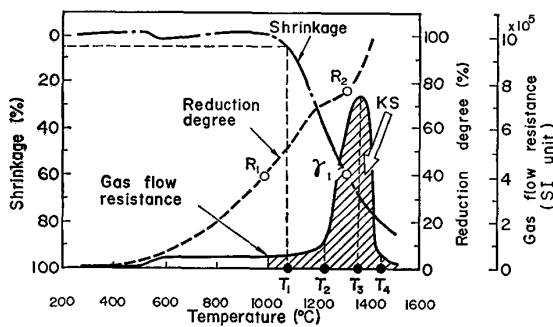


Fig. 1. Experimental conditions for investigating sinter properties by softening-melting down apparatus.



R_1, R_2 : Reduction degree at 1000°C and 1300°C
 T_1 : Temperature at 5% shrinkage
 T_2, T_3, T_4 : Gas flow resistance increasing temperature, maximum gas flow resistance temperature and gas flow resistance decreasing temperature
 γ_1 : Shrinkage at 1300°C

Fig. 2. Temperature dependence of gas flow resistance, reduction degree and shrinkage degree.

ΔP : 圧損 (kgf/m²)

H : 層高 (m)

ρ_g : ガスの密度 (kg/m³)

μ_g : ガスの粘性 (kg/m·s)

u_g : ガスの空塔速度 (m/s)

β : ガス流れにより定まる定数で 0.2, なお後述の高炉 ((5)式) の場合には 0.6

焼結鉄 R を試料とした荷重還元実験において,

- i) K が上昇し始める温度
- ii) K がピーク値を示す温度
- iii) K が低下し終わる温度

の各温度で実験を中断して凍結した各段階における断面を観察した。それによると, K が上昇し始める温度で

は, 焼結鉄は粒子形状を保ち空隙が確保されているが, K がピーク値を示す温度では, 融着化が進行している。 K が低下し終わる温度ではメタルとスラグの分離が認められ, 空隙率はほとんど 0 でコークス粒子間にスラグが垂れ下がり一部にメタル滴も存在する。

このような観察結果に基づくと, 軟化帯での通気性は還元粉化性に依存する空隙の程度と, それを埋める被還元性に依存するスラグ量との相対的な関係により決まり, 融液生成温度以上では残留ウスタイト, スラグおよび浸炭とその後のメタルの熔融流出によるコークス充填層の空隙の閉塞状態に強く支配されていることが推察される。

そこで, KS が低温還元性状および脈石組成に強く依存しているものと仮定すると, これらを要因として(2)式で表すことができた。

$$KS_{cal} = KS_0 - (80\Delta RI - 55\Delta RD I + 25\Delta TI - 15\Delta V_g + 10\Delta T_{mg}) \times 10^5 \dots\dots (2)$$

KS_{cal} : 高温部通気抵抗指数の計算値 (SI 単位・°C)

KS_0 : 高温部通気抵抗指数の基準値 (SI 単位・°C)

V_g : 脈石量 (kg/t·Fe)

T_{mg} : 平衡脈石融点 (°C)

Δ : 各要因の基準値からの偏差

(2) 式を実機焼結鉄に適用して KS_{cal} を算出し実測値 (KS_{ob}) との関係を図 3 に示す。両者の間には比較的良好な相関が存在し, 焼結鉄種類による KS の変化はこれらの因子によつて大部分説明できることが確認された。

3.2 焼結鉄高温性状の高炉操業におよぼす影響

小倉 No. 2 BF では昭和 59 年 9 月より KS を通気性管理指標の一つとして活用しているが, 蓄積されたデータに基づいて, (2) 式より算出される KS と高炉操業との関連性を検討する。なお, 以下の解析における高炉操業データとしては休風日を除く旬間平均値を用いた。

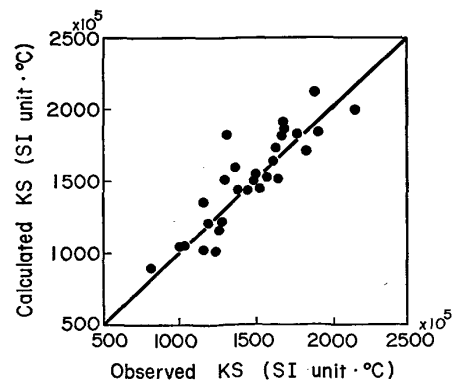


Fig. 3. Comparison of gas flow resistance between calculation and actual results.

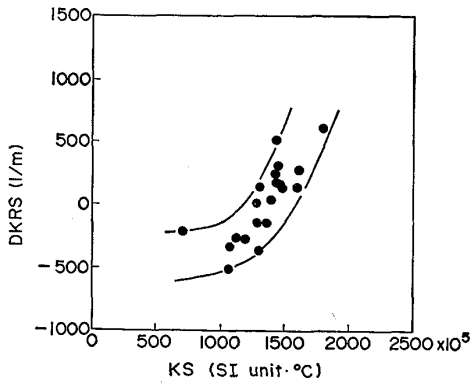


Fig. 4. Effect of *KS* on the gas flow resistance in the blast furnace.

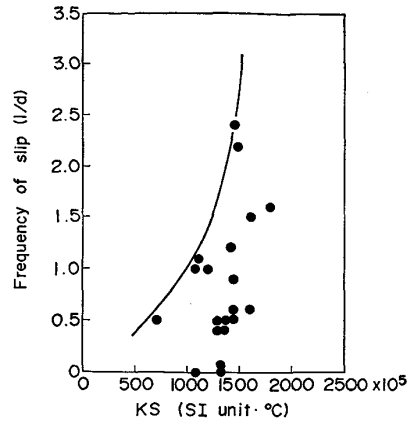


Fig. 6. Relation between frequency of slip and *KS*.

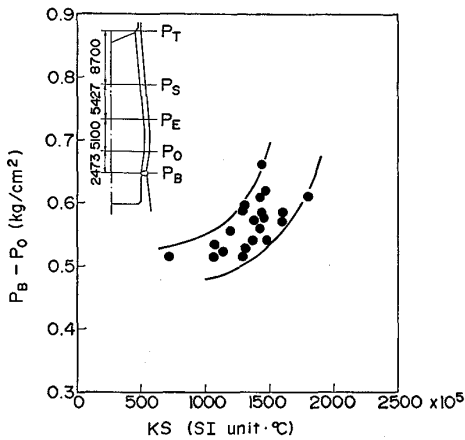


Fig. 5. Effect of *KS* on the pressure drop in the lower part of blast furnace.

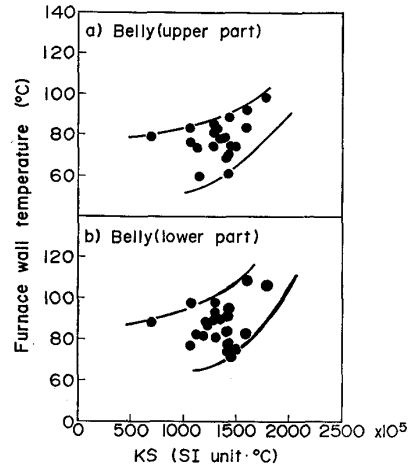


Fig. 7. Change in furnace wall temperature with the increase in *KS*.

高炉通気性には非常に多くの因子が作用し、また交絡し合っているためにそれらの影響を考慮しなければならない。Fig. 4 は高炉操作データに基づいて、高炉の通気抵抗指数 KR^0) におよぼす O/C, 溶解帯レベル ML , コークス強度 ($DI_{15}^0, DI_{30}^0, SIR^0$) の影響を(3)式で補正して得られる $DKRS$ と KS との関係を示したものである。

$$DKRS = KR - KR_0 - 3 \cdot 300 \Delta O/C - 300 \Delta ML + 430 \Delta DI_{15}^0 + 75 \Delta DI_{30}^0 + 45 \Delta SIR \dots \dots \dots (3)$$

KR, KR_0 : 高炉通気抵抗指数とその基準値 (1/m)

Δ : 各品質の基準値からの偏差

両者の間には正の相関が存在し、 KS が上昇すると通気性が悪化する傾向が認められる。

高さ方向各ゾーンでの圧損を比較してみると、炉上部の圧損と KS との関係が薄いのに対して、炉下部の圧損は Fig. 5 に示すように指数関数的増加を示し、 KS が増すにしたがって炉全体の圧損に対する炉下部圧損の占める割合が増加することがわかる。また Fig. 6 に示

すように KS が上昇して高温性状が悪化するほど、サウンディングの突込み回数は増大し荷下がり不安定化する。

2次元ガス流れモデルを用いて、高温荷重軟化性状の高炉内ガス流れおよび通気性に与える影響について検討した結果によると⁹⁾、高温荷重軟化性状が悪化するとガス流れは軟化融着帯近傍において炉壁寄りとなる。炉壁温度との関係においても、Fig. 7 に示すように KS が高い場合にはベリー部温度が高くなる傾向が認められる。 KS が上昇すると軟化融着帯内における通過ガスの半径方向速度成分が増加し、炉壁寄りのガス流れが発達するため、ベリー部の温度が高くなったことを示唆する。

一方このようなガス流れの変化により炉内状態の不均一化が助長され、炉況悪化に陥りやすくなる。Fig. 8 は銑中 Si と KS の関係を示したものである。ここで、銑中 Si は溶銑温度、コークス灰分、出銑比の影響を補正した値を用いているために図中では Si^* で表示した。

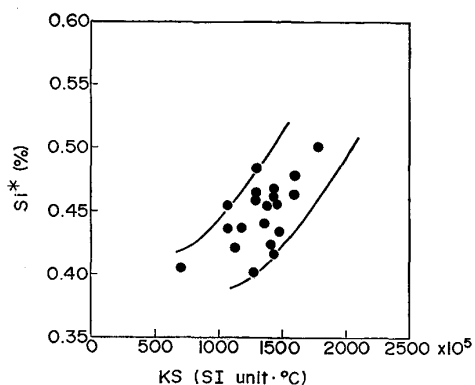


Fig. 8. Relation between Si content in hot metal and KS.

KS の高い焼結鉄を使用した場合には鉄中 Si が高くなる傾向が認められ、鉄中 Si 低減には高温性状の改善 (KS 指数の低減) が必要であることがわかる。Fig. 4, Fig. 6 に示したように、KS の高い焼結鉄は通気性の悪化および荷下りの不安定化を招く。このために、メタルおよびスラグ液滴の円滑な流下が妨げられ、鉄中 Si のばらつき増大をもたらし結果的には安定操業のために鉄中 Si を高めて操業したことによるものと推察される。

3.3 高炉操業における焼結鉄の品質設計

3.2 で述べたように、昇温荷重軟化試験より得られる指数 KS は高炉操業と密接な関係にある。したがって、KS を適当な範囲内に管理することは、高炉の安定操業に寄与するものと考えられる。高炉操業における焼結鉄の品質設計についての考え方を以下に示す。

本実験結果に著者らの開発した軟化融着帯を考慮した高炉内通気性評価法⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾を適用すると、KS の高炉内ガス流れおよび通気抵抗 KR に与える影響が検討できる。高炉操業では、(4)式で算出される吹抜けの危険性を示す指標 PL が重要な指標として管理されているが、一般に PL と高炉通気抵抗指数 KR との間には(5)式の関係が成立する。したがって焼結鉄品質と PL との間には Fig. 9 に示す定性的な関係が成り立つ。

$$PL = \frac{\Delta P/L}{\rho_s} \dots \dots \dots (4)$$

$\Delta P/L$: 圧力勾配 (kgf/m³)

ρ_s : 平均嵩密度 (kg/m³)

$$PL = \frac{KR}{\rho_s} \cdot \frac{1}{g_c} \cdot \left[\frac{215\mu g}{\phi_p d_p} \frac{1}{1-\epsilon_p} \right]^\beta \cdot \rho_g \cdot u_g \dots (5)$$

g_c : 重力換算係数 (kg·m/kgf·s²)

ϕ_p : 装入物の平均形状係数 (—)

ϵ_p : 装入物の平均空隙率 (—)

d_p : 装入物の平均粒子径 (m)

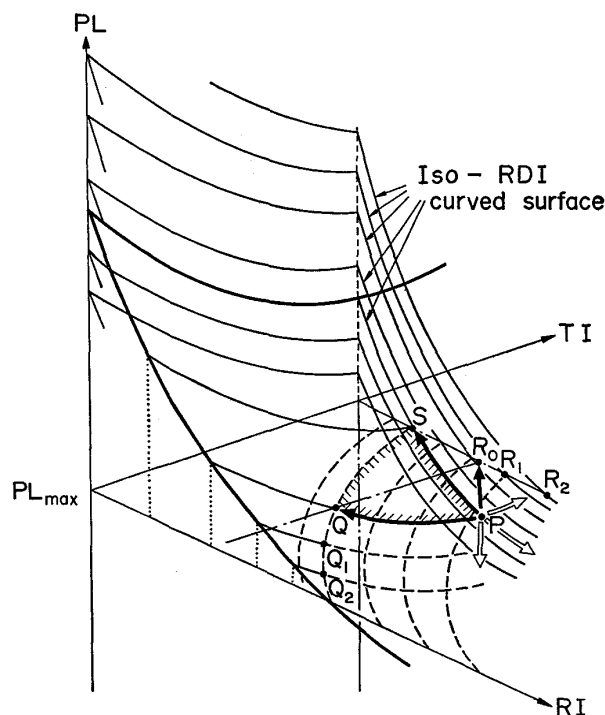


Fig. 9. Qualitative relation between PL and sinter qualities.

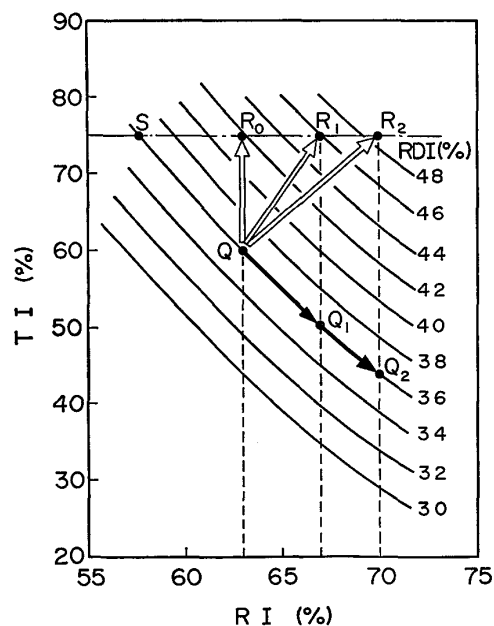


Fig. 10. Mutual correlation among TI, RDI and RI under the condition of $PL = PL_{max}$.

TI, RI の上昇および RDI の低下により PL は低下する。ここで、過去の高炉操業データを整理すると、PL の値が 0.675 (= PL_{max}) 近傍のときに吹抜けを経験している。そこで、 $PL \leq PL_{max}$ を制約条件として、各 RDI について PL-TI 線図を求め、 PL_{max} となる時の TI を読み取りこれらを組み合わせると、RI, TI, RDI の間に Fig. 10 に示す一定の関係が成立する。Q点から

上方へ出発している矢印は TI 一定下で RI が改善されたときの RDI の動き, 右下方へ出発している矢印は RDI 一定下で RI が改善されたときの TI の動きを示している. たとえば, $RDI=36$ のとき RI を 63 から 67 に改善させれば, TI を 50 に悪化させても PL は変化しない. また, TI がこの値以上であれば, RI の向上によつて PL は低下することを意味する. したがつて, このような線図にしたがつて品質の改善をおこなえば, 炉況を悪化させずに安定した操業が維持できるものと考えられる.

ところで, 焼結鉱のあるべき品質は, 高炉の操業度, 炉況, 燃料比, 経済性等を加味してバランスのとれたものにする必要がある. そこで, PL 一定の制約条件を設けて, 通気性を確保し安定した高炉操業を維持するなかで, 燃料比をいつそう低下させる品質条件を追究してみる.

Fig. 11 はモデル計算¹¹⁾に基づく燃料比と TI , RI との関係を示したものである. RDI , TI 一定のまま RI を 63 から 70 に改善すると, 燃料比は 465 kg/t から 458.7 kg/t に低下する. 一方, RI 向上の結果高温性状が改善されるために PL が低下する. すなわち, 通気性面において余裕が生じ, 一定の PL を維持する条件下では TI の低下が許され, 細粒化の結果還元性がさらに大きくなる方向に移行する. したがつて, 一定の間接還元率を遂行するための所要 CO ガス量が減少するから, 燃料比も必然的に改良されることになる.

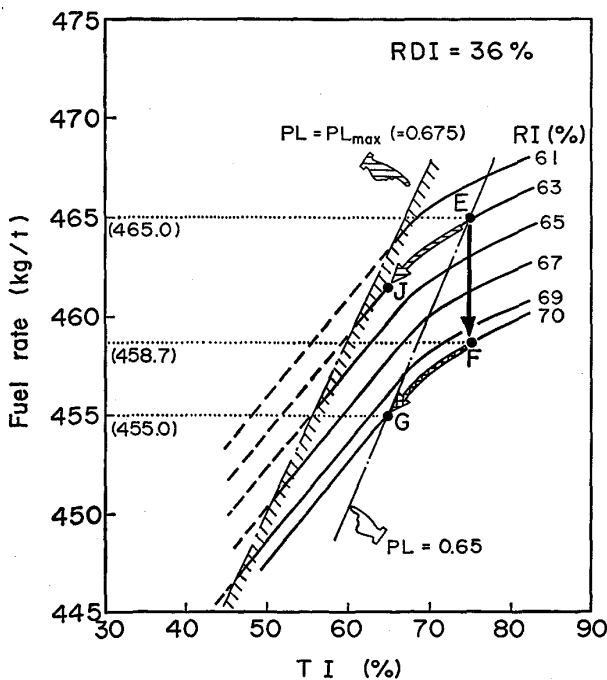


Fig. 11. Effect of TI and RI on the fuel rate under constant RDI .

実際にはコークス比の低下によつて空隙率が小さくなるので通気抵抗が大きくなる可能性, 反面では O/C の増大によつて装入物の密度も大きくなるために, PL が低下することも予想される. したがつて定量的に正確な評価を展開することは困難であるが, 半定量的の評価ということで検討を進める. なお, コークス比低下により生じると考えられる O/C 分布の変化に対しては, 現状を維持すべくムーバブルアーマー等による付随アクションをとるものとする.

さて, TI の低下量を Fig. 11 において $F \rightarrow G$ の 10 とすれば, 結局同図において RI の改良による燃料比 6.3 kg/t ($=465.0 - 458.7$) の低下と, TI の低下による燃料比 3.7 kg/t ($=458.7 - 455.0$) の低下の合計すなわち 10.0 kg/t ($=6.3 + 3.7$) だけの燃料比が改良され, G 点の焼結鉱品質 ($RI=70.0$, $RDI=36.0$, $TI=65.0$) においても操業が可能となる. 一方, PL の余裕を RDI 悪化で対処した場合には, Fig. 12 に示すように燃料比は 8.7 kg/t 改良され, TI 低下で対処した方が燃料比低下の面からは有利である.

以上述べたように, RI , RDI , TI の最適な組合せにより大幅な燃料比の低下が期待できる. 焼結鉱を使用する高炉側にとつて, 安定操業の面からはすべての品質が高いレベルに維持されていることが望ましい. しかしながら, 製造側にとつては自由度がかなり制約されるといえる. 今後は, 銑鉄コストの低減を目標に品質のトータル管理を推進する必要がある.

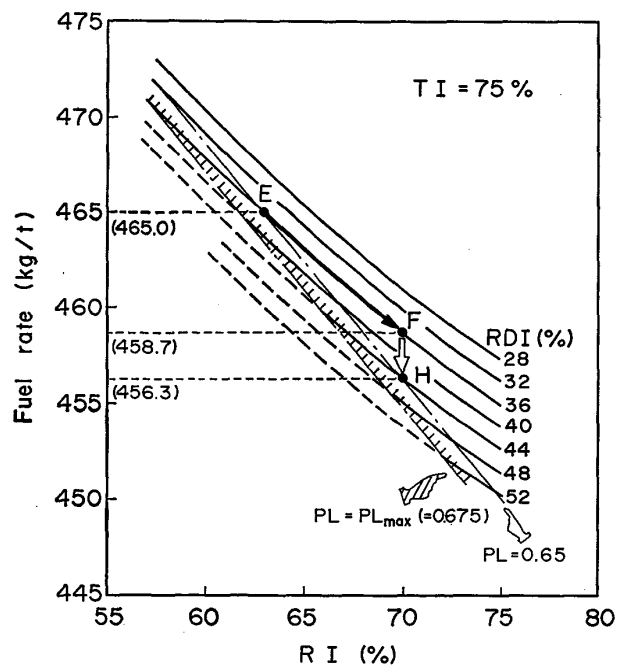


Fig. 12. Effect of RI and RDI on the fuel rate under constant TI .

4. 結 言

鍋焼成にて RI , RDI , TI , 脈石量 (V_g) および脈石融点 (T_{mg}) が単独に異なる焼結鉱を製造し, その高温性状を測定して, 高温部通気抵抗指数の変化 (ΔKS) は, $\Delta KS = -(80\Delta RI - 55\Delta RDI + 25\Delta TI - 15\Delta V_g + 10\Delta T_{mg}) \times 10^5$ で表せ, この式が実機焼結鉱にも適用できることを明らかにした.

つぎに, KS と高炉操業との関連性を調査し, KS の小さな焼結鉱を使用したときの高炉炉況は良好で通気性は改善されるとともに鉄中 Si のばらつき低下が認められ, 高炉操業との対応を確認した.

さらに, 焼結鉱品質の最適な組合せにより, 高炉操業の改良が期待でき, 一例として RI の上昇および TI の低下による燃料比の低下を示した.

最後に本研究を遂行するにあたり有益なる御助言を賜りました住友金属工業(株)顧問 館 充博士, 小倉製鉄所芳木通泰製鉄部長ならびに総合技術研究所鉄鋼研究部

長羽田野道春博士に厚く御礼申し上げます.

文 献

- 1) 梶川修二, 塩原勝明, 堤 一夫, 山岡洋二郎: 鉄と鋼, 69 (1983), A9
- 2) 斧 勝也, 肥田行博, 児玉惟孝: 鉄と鋼, 61 (1975), p. 777
- 3) 斧 勝也, 山口一良, 重見彰利, 西田信直, 神原健二郎: 鉄と鋼, 65 (1979), p. 505
- 4) 国分春生, 佐々木晃, 田口整司, 樋谷暢男: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 2338
- 5) 井上勝彦, 池田 孜, 上仲俊行: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 2431
- 6) H. W. GUDENAU and K. OZCAN: Stahl Eisen, 102 (1982), p. 567
- 7) M. HATANO, T. MIYAZAKI and Y. IWANAGA: Ironmaking Proc. AIME, 41 (1982), p. 61
- 8) 的場祥行, 下田輝久: 鉄と鋼, 60 (1974), S354
- 9) 西岡邦彦, 吉田周平: 鉄と鋼, 70 (1984), p. 343
- 10) 下田輝久, 栗田興一, 岩永祐治: 鉄と鋼, 70 (1984), p. 665
- 11) M. HATANO, T. MIYAZAKI and Y. IWANAGA: Transactions of the Iron and Steel Society of AIME, 2 (1983), p. 51