

論 文

高炉操業におよぼす装入物粒度の影響について*

小 菅 高**・児 玉 惟 孝**

SOME EFFECTS OF CHARGING SIZE ON THE BLAST FURNACE OPERATION

Takashi Kosuge, Koretaka Kodama

Synopsis:

During the period from April to October 1954, the test had been carried out to study the size of charging materials and the relation between the blast furnace condition and the size of charging materials in Higashida No. 6 blast furnace of Yawata Works.

In case of using sintered ore at the extent of 40%, the best result was obtained when the various materials were charged with the following size:

Magnetite.....	17 mm in average
	30 mm maximum
	3 mm minimum
Hematite	27 mm in average
	50 mm maximum
	3 mm minimum

Especially when high grade lump ores were used for the test, operation was carried out with 0.597 coke ratio.

The relation between ore size, permeability in the furnace and reducibility of ore is very important. Much studies on the above factors have to be made and the results thus obtained shall be applied actually in the treatment of raw materials.

I. 緒 言

最近本邦各地の溶鉱炉操業において、昭和 27 年以降原料処理の効果およびコークス灰分の低下、品質向上とともにコークス比の低下はいちじるしく国内の大部分の炉は、0.6 合に達し、世界的水準に達した。八幡製鉄所においてもすでに 29 年 4 月（本会 47 回）において、和田、白石、小菅、により「最近の八幡における製鉄作業について」の発表を行い、原料および操業関係の発表がなされ、引き続き 29 年 10 月（48 回）白石、光井、都留、により洞岡第 4 高炉における塊鉄操業についての発表が行われた。

本研究はいかなる粒度のものが溶鉱炉に最適かを確かめあわせてその時の炉況、ガス分布、装入物形状、羽口前ガス分析その他について主として、鉱石粒度面からみた調査研究について報告する。なお若干それに附帯した実験をのべる。

II. 試 験 要 項

試験は公称 400 t であるが現在 500~550 t の出鉄能力をもつ東田第 6 溶鉱炉にて、昭和 29 年 4 月 10 日より 11 月 30 日までの間技研と現場と協同実験の下に技研より応援をうけて行つた。それらの要項および関係図は Table 1, Fig. 1 のごときものである。なおその期間における月別成績は Table 2 に示す。Fig. 1 についてみると炉内ガス成分は、ストックラインの上 700 mm および下 3,300 mm の位置に南北 2 カ所よりガスを採取し、同時にガス圧力および炉内温度を測定した。測定位置は南北よりおのおの水平に内部に向つて 0.300. 600. 1,000. 1,500 mm および中心部の 11 カ所である。なお炉頂部におけるガス成分は多少変化するので、大体標

* 昭和 30 年 10 月本会講演大会にて発表

** 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所

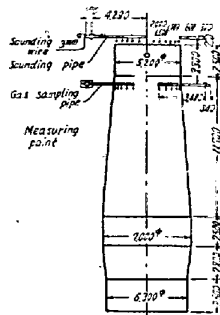


Fig. 1. Measuring points.

準として毎日9時に装入後2分たつてから測定することとした。

装入物の形状は図のごとく分銅にワイヤーをむすび、このワイヤーに寸法を記入しておいてガス管の中を通してこの管を動かして、処定の位置にて分銅を装入物の上におろして測定した。本試験において一定の状況の下で試験すべきであるが試験期間が長期にわたるため、その間生産制限により出銑量調節、コークス灰分の低下、原料の整備等により一定の作業はしにくいために比較は主として試験期間および前後の普通操業との比較に重点をおいた。

なお原料粒度についてはとくに意を用いたが、何分にも使用量多く、量の確保と整備困難につき所期のごとくできなかつたことは遺憾であつた。つぎに試験結果についてのべる。

Table 3 は主なる試験期間および項目を示す。

III. 装入法による炉頂ガス分布の変化と 炉況との関係

Table 1. Items of tests.

- 1) Test blast furnace
Higashida No.6 B.F. (Nominal capacity 400 t/day)
- 2) Number of personnel
Five engineers and fifteen workers
- 3) Period of the test
From 10th April to 30th December, 1954
- 4) Measurement:
 - a) Size of raw-materials (openings of screens 50 mm, 40 mm, 30 mm, 10 mm, 3 mm)
 - b) Pressure and temperature of top gas:
 - i) Number of times of measurement-2 times in a day
 - ii) Spots of sampling
 - (a) 700 mm above stock line
 - (b) 3300 mm below stock line
 - iii) Spots of measurements
every 300 mm, 600 mm, 1000 mm, 1500 mm, 2000 mm, 2600 mm from south and north side wall, however, ii)-(b) temperature only at in side wall.
 - c) Condition of stock descending.
 - d) Operation condition.
 - e) Gas analysis at the front of tuyeres.
 - f) Others.

(1) コークスの層の厚さによる影響について
本試験の使用原料は Table 4 に示す。

試験は4月13日より5月27日にいたる間に行い通常1チャージのコークス量 5 t 400 kg のものを普通操業としてこれと 4 t および 10 t にした時の比較試験をした。結果は 4 t では明らかな変動はなかつたが 10 t では炉況悪化し成績は低下した。この結果は Table 5

Table 2. Operation data of Higashida No.6 B.F.

Month	Product	Coke ratio	Ore ratio	Blast vol. m ³ /mn	Blast temp. °C	Blast pres. gr./cm ²	Pig analysis		CaO/SiO ₂ in slag	Top gas		Slip & hanging	
							Si%	S%		CO ₂ %	CO %	H.	S.
29	4 (519 421) 15,582 640	689	1 474	989	683	820	0.75	0.021	1.38	14.7	26.4	1	2
"	5 (535 496) 16,600 380	711	1 499	967	696	866	0.72	0.026	1.41	13.4	27.6	4	4
"	6 (439 593) 13,187 800	720	1 544	812	641	679	0.78	0.023	1.37	13.7	27.4		0
"	7 (423 551) 13,130 080	699	1 537	785	660	755	0.70	0.021	1.33	13.9	27.2		0
"	8 (442 035) 13,703 080	669	1 479	797	670	785	0.67	0.024	1.32	15.1	26.1		0
"	9 (467 537) 14,026 120	644	1 446	777	664	694	0.73	0.024	1.31	15.1	26.1	1	0
"	10 (493 071) 15,285 220	644	1 429	776	687	754	0.78	0.025	1.44	15.7	25.2		0
"	11 (484 504) 14,535 120	644	1 433	807	682	683	0.85	0.09	1.39	16.2	25.2	14	9
"	12 (497 870) 15,433 970	669	1 463	791	686	752	0.81	0.032	1.40	15.8	25.8	12	19

Table 3. Period and items of the test.

Period	Item
I. 1st test	
A. 13 april~20 April 1954	Normal operation
B. 20 april~29 April "	Test 1 by one charge of coke weighing 4,000 kg
C. 7 may~15 May "	Normal operation
D. 19 may~20 May "	Test 2 by one charge of coke weighing 10,000 kg
E. 21 may~27 May "	Normal operation
A'. 3 June~5 June "	Normal operation
B'. 6 June~11 June "	Test 3 by reversing charging method
C'. 16 June~21 June "	Normal operation
II. 2nd test	
A. 28 June~30 June 1954	Normal operation
B. 7 July~13 July "	Test 1 ore size -40mm
C. 15 July~25 July "	Normal operation
D. 26 July~7 August "	Test 2 ore size -30mm (low grade)
E. 9 August~12 August "	Test 3 by ore size -30mm (high grade)
F. 13 August~19 August "	Normal operation
A'. 20 August~31 August "	Normal operation
B'. 2 September~11 September "	Test 4 by lump ore was crushed
C'. 17 September~30 September "	Normal operation
D'. 10 October~15 October "	Normal operation
E'. 16 October~31 October "	Test 5 fine ore (-10mm) was screened out
A''. 16 November~20 November "	Test 6 by high grade ore
B''. 21 November~25 November "	Test 7 by high grade ore
C''. 26 November~30 November "	Test 8 by high grade ore

Table 4. Blending ratio of burden.

Ore	Period	A	B	C	D	E	A'	B'	C'
Larap		12 %	12 %	9 %	8 %	7 %	7 %	11 %	10 %
Samar		9	9	6	4	0	10	11	9
Nevada		12	11	6	9	11	2	1	0
Parisade		4	0	0	0	0	0	0	9
Japanese		6	7	7	8	7	7	7	7
Texada		5	9	12	14	12	11	12	8
Briquette		6	6	6	6	6	6	5	0
Sinter		46	46	43	38	43	42	36	41
Dungun		0	0	8	6	6	6	6	10
Goa		0	0	4	7	8	9	6	0

A→Eに示すごとくであり、A, B, Cについては出銑量はA, B, C, の順で増しコークス比はBが低い。またBではガス分析についてはストックライン上下においてCO₂が多い。これはBの平均粒度のこまかいため間接還元がよく行われた結果と思われる。つぎにコークス10tとした場合の比較はC, D, E, にて示す。この結果は操業中棚つりを生じたので短期間で中止したが、この期間は出銑量低下しコークス比も高く、銑鉄、ガス成分とも変動多く悪い結果を生じた。これらの結果からみて已に現場にて何回も行われてはいるが、一回コークス装入量は炉況に重要な結果をおよぼすことは明らかであ

り、現状ではコークス層の厚さは5.4tで510mmであるが、4tでは380mm、10tでは945mmと層の厚さが厚くなり、米国の例では380mmといわれているが層の厚い時はガスの分布不均一となり、また指しを下げる結果ともなりよくない。(また減風作業の時等にはかえつてコークスを減した方がよいのではないかと思われる) Fig. 2は炉頂装入物の形状を示す。

(2) 装入方法の順序の変更と炉況の関係

本試験は6月3日より6月21日にいたる間において行つた。普通操業は銑石をさきに装入しその後コークスを装入しているが、本試験ではこの反対のすなわちコ

Table 5. Operation data on trends of charging methods.

Period	A	B	C	D	E	A'	B'	C'	
	Coke 5.4t/charge	Coke 4t/charge	Coke 5.4t/charge	Coke 10t/charge	Coke 5.4t/charge	Charging cycle o.o.o.o. c.c.c.c.	Charging cycle c.c.c.c. o.o.o.o.	Charging cycle o.o.o.o. c.c.c.c.	
	1954. 4.13~4.20	4.20~4.29	5.7~5.15	5.19~5.20	5.21~5.27	6.3~6.5	6.6~6.11	6.16~6.21	
Quality & size analysis	Ore								
	Total Fe %	56.41	56.27	55.68	56.11	56.70	58.05	57.81	59.77
	>50mm %	13.70	9.70	14.08	12.36	14.14	11.72	12.21	13.79
	50~10mm %	39.90	36.70	44.51	43.95	47.12	48.40	47.70	42.05
	10~3mm %	26.00	31.10	23.53	27.40	23.63	24.19	24.59	26.61
	<3mm %	20.90	22.50	17.48	16.29	15.11	15.69	15.48	17.55
	Mean size mm	24.00	19.80	25.70	25.10	27.30	26.44	25.64	22.96
	Coke								
	Ash %	13.04	13.04	12.84	12.90	12.89	12.77	12.94	12.90
	>100mm %	18.99	17.40	20.76	19.43	18.05	20.24	19.93	17.70
	<25mm %	4.17	3.92	4.11	4.72	5.01	3.64	4.20	4.33
	Mean size mm	78.84	78.13	80.06	79.29	77.50	80.78	79.77	78.30
	Others								
Mean size of lime mm	40.82	39.03	39.90	43.08	46.03	37.43	32.55	35.29	
Mean size of open hearth slag mm	39.68	41.08	40.80	41.48	43.98	38.45	39.08	37.16	
Operation data	Ore/Coke	2.14	2.14	2.12	2.07	2.10	2.12	2.12	2.12
	Output t/day	501.000	541.000	556.000	508.000	552.000	480.000	472.000	458.000
	Coke rate kg/t	0.703	0.687	0.721	0.787	0.671	0.699	0.735	0.721
	Blast vol.m ³ /mn	998	1.000	1.000	988	952	821	828	820
	Blast press. g/cm ²	821	838	864	900	845	728	690	645
	Blast temperature °C	661	689	673	713	704	637	636	637
	Si in pig %	0.75	0.78	0.77	0.74	0.70	0.84	0.75	0.74
	Range %	0.23	0.28	0.22	0.41	0.23	0.25	0.17	0.17
	S in pig %	0.020	0.023	0.023	0.028	0.022	0.021	0.024	0.023
	Range %	0.008	0.012	0.008	0.026	0.013	0.009	0.011	0.008
	CaO/SiO ₂ in slag	1.4	1.38	1.43	1.38	1.38	1.34	1.33	1.36
No. of charge	66	93	73	40	69	62	62	61	
Gas analysis	3.3m under stock line								
	CO ₂ %	13.9	14.6	14.1	13.9	13.5	12.7	12.4	13.8
	Range %	8.0	9.1	6.3	12.3	7.5	8.8	7.0	7.0
	CO %	25.8	24.9	25.3	26.3	25.8	26.0	27.1	25.7
	Range %	7.1	8.3	6.1	10.3	6.7	5.0	6.9	6.0
	0.7m upper from stock line								
	CO ₂ %	14.8	15.0	14.1	13.3	13.6	13.4	13.6	13.6
	Range %	3.1	3.1	2.5	6.4	2.9	2.0	2.1	1.6
CO %	25.7	25.3	26.5	27.2	26.7	26.6	27.0	26.5	
Range %	2.9	2.3	1.8	5.4	2.1	4.5	2.8	1.5	
Gas temperature	3.3m under stock line								
	North °C	/	670	712	/	652	789	738	662
	South °C	/	683	635	/	615	658	613	586
	Top temperature °C	182	180	194	216	191	158	203	166
	Charging level Max-Min mm	/	948	961	1.147	1.291	983	923	1.137

ークスもさきにし鉱石を後にする装入方法を行つて試験した結果は Table 5 A', B', C', に示す。鉱石粒度は C' が小さくまた Fe 分も高いけれど、B' は A', C', に比しコークス比若干高く鉄鉄の S の変動多く、ガス成分についてはストックライン下では CO₂ 低く CO 高く (CO/CO₂ A' 2.05, B' 2.18, C' 1.86) 変動多い。

炉頂では大差はないが炉頂熱は高い。また装入物の層の上下の差は少く出ている。総合して考えると B' は A' C' に比して劣ると考えられる。普通装入方法の変更は変更した当座はガス分布および上昇状態等により若干よくなるが一般には永續きせずまた元へかえるが本実験で

もそのような傾向がみられた。

(3) 検討

以上の実験から検討を加えると、シャフト部のストックライン下 3300mm における CO₂ の分布状況、炉況 CO₂ の分布、ガス圧の分布、等の炉況の関係は Table 6, Table 7, Table 8 に示すとくであり、また CO₂ の分布と炉況の順、下順との関係は Fig. 3 のごとくである。すなわちこれによると CO₂ の変化の多いほど炉況はよくなり左右対称でない時も悪い。またガス圧についても変化の少ないものほどよいといえる。つぎに主原料粒度と炉内ガス成分について本試験から確かめられ

Table 6. Relation between furnace conditions and CO₂ distribution in shaft.

Type of CO ₂ distribution	No.	Results							
		S >0.01%	R̄ ()	S >0.025%	X̄ ()	Si, R̄ >0.3%	S in X̄ <0.6%	c. r. >0.7	Ore/coke <2.14
CO ₂ > 15% R̄ 15~10% 10~5% < 5%	1	1 (100%)		1 (100%)		1 (100%)	0	1 (100%)	1 (100%)
	8	6 (75%)		0 (0%)		5 (63%)	0	2 (25%)	4 (50%)
	43	18 (42%)		1 (2%)		6 (14%)	2 (5%)	28 (65%)	24 (56%)
	4	0 (55%)		0 (0%)		0 (0%)	0	1 (25%)	1 (25%)
*Non-symmetric type	11	6 (55%)		1 (9%)		2 (18%)	0	3 (27%)	5 (46%)

* Deference of CO₂ content is than 3% in north and south.

Table 7. Relation between furnace conditions and CO₂ distribution.

Conditions	Number	R̄ %				Remarks
		> 15	15~10	10~5	< 5	
Best	12	0	0	6 (50%)	6 (50%)	ore/coke > 2.20 S < 0.025% S R̄ < 0.01% Si R̄ < 0.3%
Better	5	1 (20%)	1 (20%)	3 (60%)	0	ore/coke < 2.10 S 0.025% S R̄ > 0.01%

Table 8. Relation between furnace conditions and gas pressure distribution.

Type of top gas press	Number	Results					
		S >0.01%	R̄ ()	S >0.03%	X̄ ()	Si R̄ > 0.3%	Si X̄ > 0.8%
Press. > 15 g/cm ² R̄ 15~10 10~5 < 5	10	5 (50%)		0		2 (20%)	3 (30%)
	17	11 (65%)		2 (12%)		7 (41%)	8 (45%)
	16	6 (38%)		0		2 (23%)	4 (25%)
	10	2 (20%)		0		0 (0%)	2 (20%)
* Non-symmetric type	6	3 (50%)		0		1 (17%)	2 (33%)

* Deference of gas pressure is more than 15g/cm² in north and south.

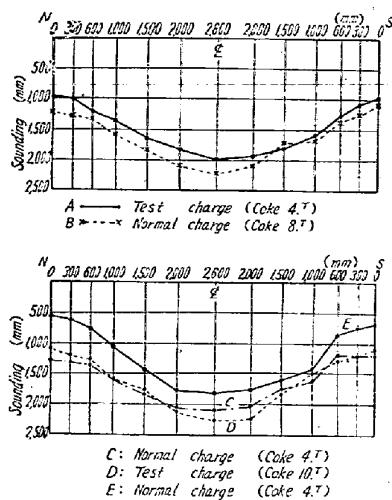


Fig. 2. Type of charging line.

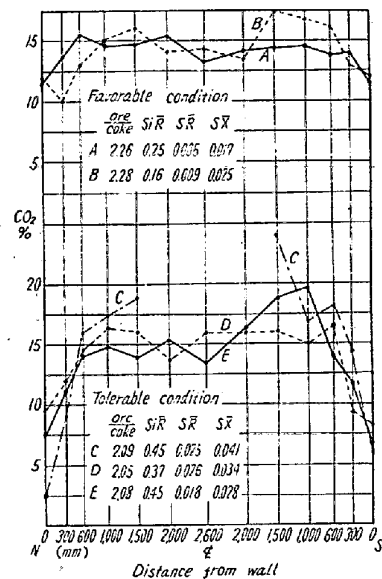


Fig. 3. CO₂ distribution in upper shaft by furnace conditions at 3.3m below stock line.

た点についてのべると、一般に知られているごとく鉱石粒度の小さくなるにつれて間接還元がまし直接還元が減るのは認められているが、本試験および後の実験にても同様この点が認められた。(すなわち CO₂ が増すこと) すなわちストックライン、700mm 上において鉱石の平均粒度と CO₂ の関係は、Fig. 4 に示すごとく粒度小さくなるにつれ CO₂ は増し CO が減るのが分る。また

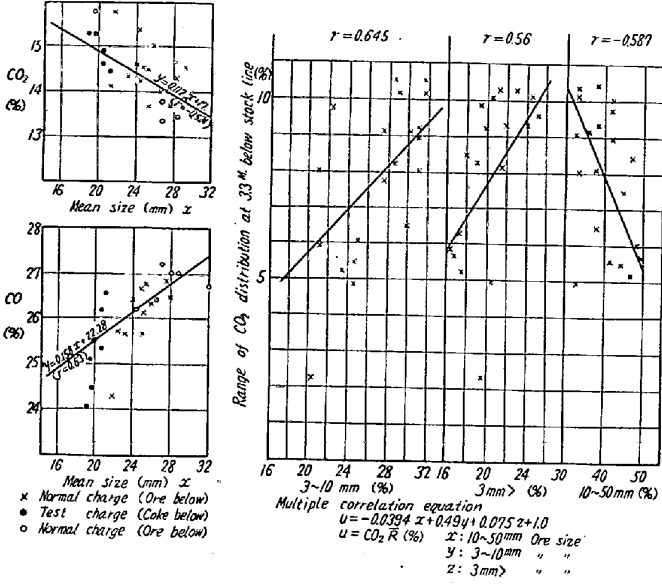


Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 4. Relation between ore size and CO₂, CO content in top gas above stock line.
 Fig. 5. Relation between ore size and variation of CO₂ content in upper shaft.

まま、洞岡にては 8~10mm またはヅングンのごとき粘性鉱石については 30mm で篩分けして使用している。本実験はいかなる粒度のものがよいかまたそれが炉況すなわちガス分布、羽口前ガス、温度、装入物の分布等にいかなる影響をおよぼすかについて、40mm 以下、30mm 以下、および塊鉱のみを選び 50mm に破碎したもの、品位の高い塊鉱等について、6月末より11月末にいたる 5ヶ月間試験を行つた。鉄鉱石粒度の影響については従来幾多の研究がなされているが、C.C. Furnas によれば 1/8"~1" といわれまた W.C. Rueckel によると米国 Fontana の 1,200t 炉では 38mm 以下で平均 18.4mm の鉱石を 25mm 以下にし、平均 12mm の鉱石に変えたところ 'コークス比は 0.789 から 0.670 に低下したことをのべており、これによると鉱石の性質は分らないが粒度の細かい方がよい結果を出している。また当所の洞岡 4 高炉における塊鉱操業の結果では、鉱石粒度 50mm 以下では、その平均粒度、25.9mm という普通操業より、50~10mm の間に極力おさまるごとく鉱石を篩分けしてその平均粒度を約 30.9mm にした方がむしろ良好であつた。(昭28. 11.1~29.2.15) また 3t 熔鉱炉の試験結果では鉄鉱石粒度は 10~5mm の範囲でその平均粒度 6.5mm までは原料鉱石の粒度の細いほど能率は向上し、5mm 以下では能率は低下し、3mm 以下になると一段と低下した。その結果は Table 9 に示す。一般に塊鉱の考えは最近では 50mm を限度と考えられ、また粉鉱の限度は 10mm 以下と考えられているが今回の試験では 3mm 程度まではよいということが確かめられた。なお粉鉱が悪いのは炉況に悪い一面品質の低いための影響が出銑量、コークス比の面で受けるのであるが、今回の試験では若干粉が多くて品位が高ければある程度成績のおちないことが確かめられた。なお本期間中の使用原料割合は Table 10 に示す。原則的に焼結鉱は 40~45% の範囲におさめて操業した。試験結果は Table 11 に示す。

1) 40mm 以下の試験

A, B, Cにこの成績をのべる(6月28日~7月28日) 操業成績は ore/coke, コークス比はBに比しAは悪いがCと大差はない。粒度はA, B, C, の順で小さく、小さい方が ore/coke も増しコークス比も下りガスも CO₂ は増し CO は減る傾向にある。

CC/CO ₂	A 2.50	B 1.96	C 1.77
間接還元率	52.7%	57.4	59.4

また羽口前ガス分析は各実験を通じて CO₂ は一般に羽口先端 600mm まで相当多く含まれているが、それよ

ストックライン下 3,300mm における原料粒度と CO₂-R の関係は Fig. 5 に示すごとくである。これによると 3~10mm および 3mm 以下の鉱石についてはこの含有割合多いほど R が大となりこの点とくに 3mm 以下のものの影響が強く粉の多いほどよくないことを示しており 10~50mm については逆に CO₂-R が減りこの範囲の鉱石が多いほどよいことを示している。なお重相関係数よりみると 10~3mm の範囲のものが一番影響するような結果を示している。このことは後述する粒度の影響について関連するが、一般に粉が多いと還元性はよいが炉内分布、通風性および変動の多いことから粉はよくないことを示しており還元性の点と変動の点を併せ考えて適度な粒度のものをえらばねばならない。すなわち 3mm~50mm のもの 70~80% の範囲のものがよい。

IV. 装入物粒度の影響について

当所における高炉作業は従来輸送設備および碎鉱能力の関係上碎鉱機のセッティングを 50mm とし東田はその

Table 9. Experimental operating data on change of burden size at 3 ton test plant.

	Ore size mm	Coke size mm	Burden kg/t	Output kg/day	Coke ratio	Ore/coke	Pig analysis		CaO/SiO ₂ in slag	Gas analysis %	
							Si%	S%		CO ₂	CO
A	11.1	21.3	79.5	3,756	2.16	0.80	1.32	0.047	1.36	3.8	33.2
B	6.5	"	107.1	4,924	1.52	1.07	1.54	0.043	1.25	6.0	31.8
C	3.9	"	97.5	4,317	1.87	0.98	1.51	0.068	1.27	4.2	32.9
D	1.4	"	88.7	3,407	2.14	0.89	2.05	0.050	1.29	4.1	33.6
E	11.1	29.3	79.8	3,752	2.18	1.74	1.68	0.063	1.33	3.8	33.3
F	6.5	"	78.8	3,633	2.10	1.65	1.27	0.047	1.43	4.0	32.4
G	3.9	"	67.5	3,543	2.48	1.68	1.40	0.099	1.37	3.2	33.2

Table 10. Blending ratio of burden.

	A	B	C	D	E	F	A'	B'	C'	D'	E'	A''	B''	C''
○Nevada	13%	13%	13%	14%	23%	13%	16%	0%	0%	0%	0%	8%	8%	8%
○Samar	13	16	16	14	0	12	3	0	0	0	0	0	0	0
○Utah	12	12	12	12	23	22	14	0	0	0	0	7	7	7
○Texada	11	11	11	12	15	14	13	11	12	12	17	0	0	0
○Parisade	5	5	5	6	0	3	6	11	11	12	11	5	6	12
○Sinter	46	43	43	42	39	35	48	44	45	46	46	46	46	45
○Dungun	0	0	0	0	0	1	0	0	0	13	17	14	14	10
○Goa	0	0	0	0	0	0	0	20	19	0	0	0	0	0
○Larap	0	0	0	0	0	0	0	8	8	6	9	0	0	0
○Hongkong	0	0	0	0	0	0	0	6	5	0	0	0	0	0
○Japanese	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
○Briquette	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
○Ipo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	19	18
Magnetite	24	24	24	26	38	27	29	25	25	18	26	8	8	8
Hematite	30	33	32	32	23	38	23	31	30	36	28	46	46	47

(Mark ○: Magnetite)

Table 11.-(A) Operation data of test on change of burden size.

			<40mm	<30mm	<30mm			
		A	B	C	D	E	F	
		6.28~6.30	7.7~7.13	7.15~7.25	7.26~8.7	8.9~8.13	8.14~8.19	
Size analysis	Ore	T. Fe %	58.67	57.76	57.75	55.07	57.61	56.96
		>50 mm	13.24	10.36	10.85	1.18	6.58	13.74
		50~30 mm	14.00	16.53	13.21	6.53	12.76	16.29
		30~10 mm	54.02	57.25	58.19	71.86	61.28	53.63
		10~3 mm	25.84	23.70	27.28	32.95	26.59	20.43
		<3 mm	18.74	15.86	17.75	20.93	19.28	16.34
	Mean size	22.17	21.27	19.56	13.36	17.94	22.95	
	Coke	Ash %	12.76	12.78	12.60	12.49	12.54	12.51
		>100 mm	19.93	17.85	19.97	20.77	18.92	21.27
		<25 mm	3.61	4.30	4.18	4.18	4.00	3.67
Mean size	79.92	78.60	79.38	80.53	78.73	79.22		
Other	Lime stone mean size	39.72	43.24	45.38	44.28	41.18	43.65	
	All mean size	39.90	43.90	38.76	41.19	43.77	45.48	
Gas analysis	3.3m under stockline	CO ₂ %	12.3	12.3	12.6	13.5	12.9	13.5
		Range	8.8	5.6	8.7	6.5	8.2	7.8
		CO %	27.1	27.3	26.8	25.2	26.8	26.2
		Range	8.5	6.9	8.7	5.7	7.8	8.4
	0.7m upper	CO ₂ %	12.5	13.5	14.0	14.4	13.2	15.9
		Range	4.4	4.1	3.4	3.3	2.3	5.7
		CO %	27.9	26.5	25.8	25.0	26.6	24.2
		Range	4.3	2.6	2.5	3.0	2.0	4.5
		CO/CO ₂ %	2.23	1.96	1.84	1.74	1.98	1.52
Operation data	Ore/Coke		2.13	2.20	2.21	2.26	2.28	2.15
	Output t/day		389,000	430,000	440,000	413,000	462,000	445,000
	Coke ratio		0.738	0.703	0.700	0.708	0.653	0.670
	Blast vol. m ³ /mn		723	796	789	850	805	777
	Blast press. g/cm ²		657	751	755	835	825	786
	V/P		1.10	1.16	1.04	1.02	0.99	0.99
	Blast temp. °C		645	661	679	636	701	696
	Top gas temp. °C		152	166	156	145	159	167
	Si in pig %		0.77	0.75	0.73	0.68	0.60	0.69
	Range		0.13	0.28	0.19	0.22	0.37	0.23
	S in pig %		0.018	0.021	0.023	0.030	0.31	0.028
	Range		0.006	0.008	0.008	0.009	0.011	0.010
CaO/SiO ₂ in slag %		1.41	1.32	1.30	1.33	1.32	1.33	
No. of charge		52	56	54	54	55	55	

Gas temperature	Stock line 3.3m							
	In wall north °C	642	631	766	733	705	704	
	In wall south °C	543	585	673	720	547	583	
	0.7m upper stock line							
	In wall north °C	67	16	171	117	118	206	
	1.5m from in wall N °C	121	207	160	136	139	209	
	Center °C	321	318	218	183	241	247	
	1.5m from in wall S °C	98	214	163	99	114	79	
In wall °C	52	150	108	68	91	90		
Charging level Max.-Min. (CO ₂ +O ₂)/CO+CO ₂ +O ₂ at tuyere		1184	1054	1326	1209	1238	1270	
Distance from tuyere to core mm		178	257	211	160	211	226	
Indirect reduction ratio %		1273	1252	1344	1127	1143	1255	
		52.7	57.4	59.2	64.0	58.0	61.0	

Table 11.-(B) Operation data of test on change of burden size.

		50~10		50~10		50~10		50~10	
		A'	B'	C'	D'	E'	A''	B''	C''
		8.20 ~8.31	9.2 ~9.11	9.17 ~9.30	10.10 ~10.15	10.16 ~10.31	11.16 ~11.20	11.21 ~11.25	11.26 ~11.30
Size analysis	Ore								
	T.Fe %	57.53	56.51	55.49	57.74	57.14	58.05	57.69	57.68
	>50mm %	12.02	17.05	14.70	12.66	12.87	19.59	17.40	15.23
	50~30mm %	13.55	16.50	16.40	15.74	20.04	19.30	17.47	14.74
	30~10mm %	57.58	53.99	54.66	56.04	55.86	51.96	55.97	58.92
	10~3mm %	24.70	22.40	22.49	25.70	18.32	19.53	21.19	22.56
	<3mm %	16.85	12.46	14.24	16.76	11.92	9.15	9.16	11.11
	Mean size %	22.77	27.38	25.67	23.35	25.71	29.99	27.53	25.72
	Coke								
	Ash %	12.42	12.46	12.39	12.32	12.20	11.60	11.64	11.66
	>100mm %	18.05	20.77	20.00	20.79	20.45	21.10	19.04	20.05
	<25mm %	4.21	4.71	4.46	4.27	4.26	3.95	4.18	4.11
	Mean size mm	77.94	79.42	79.37	79.73	79.12	80.24	78.17	78.58
	Other								
Lime stone mean size mm	42.08	41.01	44.88	46.72	46.59	41.86	41.30	43.81	
Open hearth slag mm	41.09	43.85	39.48	35.32	37.99	44.00	43.71	38.15	
All mean stone mm	27.42	30.62	29.64	27.82	29.98	32.64	30.42	28.87	
	Ore/Coke	2.21	2.25	2.30	2.27	2.27	2.28	2.30	2.34
	Out put t/day	4.55	467	463	503	505	489	504	553
	Coke ratio	0.654	0.667	0.637	0.633	0.630	0.649	0.610	0.597
	Blast vol. m ³ /mn	787	777	756	780	783	826	840	802
	Blast pres. g/cm ²	714	710	668	715	645	625	649	670
	V/P	1.10	1.09	1.13	0.9	1.21	1.32	1.29	1.20
	Blast temp. °C	676	672	661	663	686	712	715	652
	Top gas temp. °C	144	141	150	147	156	167	155	157
	Si in pig %	0.66	0.75	0.68	0.87	0.80	0.62	0.73	0.81
	Range %	0.18	0.18	0.18	0.21	0.18	0.25	0.19	0.22
	S in pig %	0.020	0.027	0.023	0.027	0.021	0.023	0.021	0.022
	Range %	0.006	0.008	0.008	0.011	0.009	0.011	0.011	0.008
	CaO/SiO ₂ in slag %	1.34	1.27	1.34	1.47	1.46	1.42	1.34	1.31
	No. of charge	55	58	54	59	60	59	58	62
Gas analysis	3.3m under stock line								
	CO ₂ %	12.5	14.0	13.8	14.6	14.3	15.6	13.6	14.2
	Range %	7.3	7.6	7.8	8.2	6.1	8.9	6.6	5.5
	CO %	26.8	26.1	26.1	25.1	26.3	24.8	25.8	25.0
	Range %	7.3	7.8	8.1	9.7	6.0	6.3	5.6	3.4
	0.7m upper stock line								
	CO ₂ %	14.6	15.0	14.7	14.7	14.8	16.5	16.1	15.6
	Range %	3.2	2.4	3.6	4.6	3.1	5.4	5.0	3.5
CO %	25.3	24.9	25.1	26.0	25.5	24.7	24.0	24.0	
Range %	2.3	2.2	2.8	1.1	2.2	2.8	2.8	2.6	
CO/CO ₂ %	17.3	16.6	1.78	1.7	1.83	1.50	1.49	1.54	
Gas temperature	3.3m under stock line								
	In wall north °C	659	722	629	761	686	750	779	780
	south °C	541	547	562	588	583	768	748	679
	0.7m upper stock line								
	In wall north °C	132	170	158	156	159	97	112	100
	1.5m from in wall N °C	132	245	205	157	227	188	110	188
	Center °C	171	273	286	164	260	189	310	354
	1.5m from in wall S °C	65	105	102	70	70	213	167	168
In wall south °C	76	111	66	118	115	80	101	81	
Charging level Max.-Min. CO ₂ +O ₂ /CO ₂ +CO+O ₂ ×100 at tuyere		1236	1329	1273	1240	1277	1236	1208	1373
Distance from tuyere to core mm		287	239	298	333	247	172	245	260
Indirect reduction ratio %		1247	1309	957	810	939	975	1108	1167
		59.2	60.7	59.2	56.7	58.5	64.3	69.3	69.0

りさきは急に減り、およそ1,000mmの所で0に近くなっている。またCOは400mmよりさきに急にましておりO₂は内部に行くにつれて減り600mmの所で0に近くなっている。今回の試験では羽口の上下についての分析値は確められなかつた。一般に操業について比較に便なるようにW. Lenningにより考えられた方法、すなわち羽口前面の酸化圏を比較する方法をとつた。この方法は(CO₂+O₂)を酸化性ガスとしCOを還元性ガスとし、CO₂+O₂/CO+CO₂+O₂の割合で酸化性の強さを示すことにした。本報告では図の酸化性ガスの含有割合を示す面積はAを以つて400mmよりさきの(CO₂+O₂)含有量で酸化性の強さの指数とした。Fig. 6は羽口前ガス分析の一例を示す。測定は一日一回しか行つてないのではつきりしないが、BはA、C、に比し大きくなつている。Fig. 7はシャフト上部各部のガス分析および温度指示を示す。

2) 30mm以下の試験

7月15日より8月19日まで行つた。これはC、D、E、F操業に示す。鉱石品位はCが高くDは粉による影

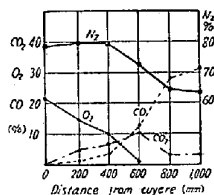


Fig. 6. Gas composition in tuyere level.

響のため低く、E、Fは大差はない。粒度はF、C、E、Dの順である。操業結果はCよりDにした場合はOre/Cokeは2.21より2.26まで上つたが逆にコークス比は上り出銑量は低下した。これは鉄分が低いためと考え鉄鉱石の配合割合も若干かえ品位をあげた結果、粒度は若干上つたが、Ore/Cokeは2.28となりコークス比は減り、出銑量はいちじるしく増したが、D、Eは風圧の上昇をみた。つぎにFにうつつたが逆にOre/Cokeは減りコークス比も若干増した。ガス成分についてはFig. 8に示すごとく明白な傾向はないが、この結果ではCO/CO₂はFが小さくD、C、E、の順であつた。装入物の形状は塊の多いC、F、がD、Eに比し大きい。しかし粒度の細い時は銑鉄成分の変動が多いのが目立つ、なおEはコークス比の低いに関わらずCO/CO₂の高いのは他に比し磁鉄鉱が多い為と考えられる。この点から磁鉄鉱は粒度をこの程度に細かくすれば優秀な成績を上げられることがいわれる。またDの64%に比しEは58%で間接還元率の低いのは磁鉄鉱の影響と考えられる。

3) 塊鉄操業試験

8月20日より9月末まで行つた。A'、B'、C'を第一D'、E'を第二試験とする。第一試験ではB'はOre/CokeはA'、C'の中間であり、また出銑量銑鉄成分については大差はなくコークス比は高い。ガス成分についてはFig. 9に示すごとくCO/CO₂はストックライン上ではA' 1.73、B' 1.66、C' 1.70でB'がよくまたストックライン下でも同様な傾向を示し変動も少ない。この結果10mm以下の粉41.2~36.7%より、35%位に減つてもはつきりした相違は認められないが炉況としてはB'の方がよい。

第二試験では極力50~10mmに揃えた。E'と普通操業D'について行い10mm以下の粉を約12%減らして比較したがOre/Coke、出銑量、コークス比はほとんど大差ないが風圧は相当低下した。ガスはFi. 10に示すごとくストックライン上ではCO/CO₂は1.72→1.83と増しガスの状況はよい。銑鉄成分の変動についても粉の多いD'の方が若干多いように思われる。

E'の方が酸化帯の強もさ前試験同様、粉が減ると小さくまた装入物の層の差は塊の方が大きい。

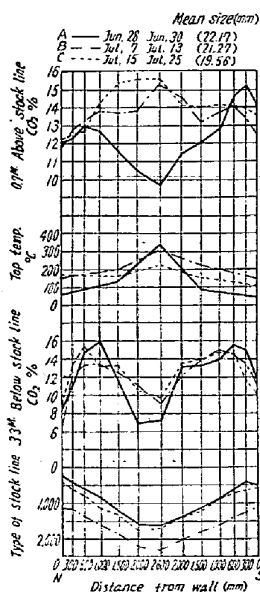


Fig. 7.

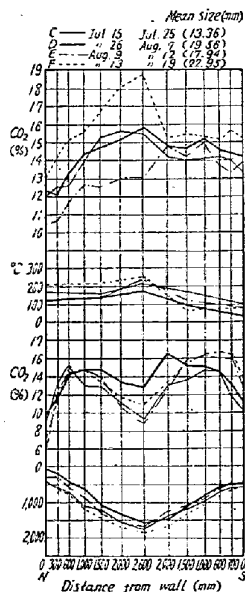


Fig. 8.

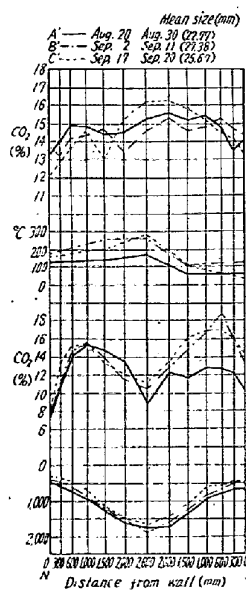


Fig. 9.

Examples of CO₂ distribution and temperature in top.

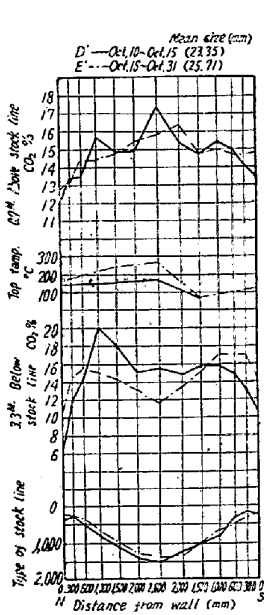


Fig. 10.

Examples of CO_2 distribution and temperature in top.

4) 高品位塊鉄試験

11月16日より11月末まで高品位の鉄鉱石を選び粉を極力除いて試験を行つたが、品位は期待ほど上昇できず粉も28.7~33.7%の範囲であつた。しかしこの期間は圧力低下と相まつて最も良好な結果を得た。しかし今回の試験の結果は粒度小さいほど、すなわち10mm以下は5%位増し、また30mm以上が10%位低下したC'操業がよく、すなわち平均粒度の減るにつれてコークス比もさがり出鉄量は増加しとくに、C'についてはコークス比0.597の最高成績をえた。この成績は世界における最低のコークス比である。またOre/CokeはA'B', C'の順でよくなり、銑鉄のSiも高く荷を増せる状況であつた。したがつてガスについてはストックライン上の、 CO_2 はC', B', A'の順で低くCOは大差なかつた。しかしFig. 11に示すごとくガス成分の変動はC'はストックライン下では従来の実験に比し一番少く間接還元率も69%に上つている。

以上の結果前のC→F試験と同一の傾向をもつが粒度についてはC'は約12.3mm程度大きい、なお粉は少ないが塊は多い。これはこの操業に使用した鉄石が磁鉄石が少なく、赤鉄石が多いのが、C→F試験のEに比し変つており、そのための差があらわれたものである。

5) 考察

以上の試験の結果を考察してみると、

A) 風量/風圧は50mm以上の多い物ほど大きくまた10および3mm以下の多い物ほど低くとくに3mm

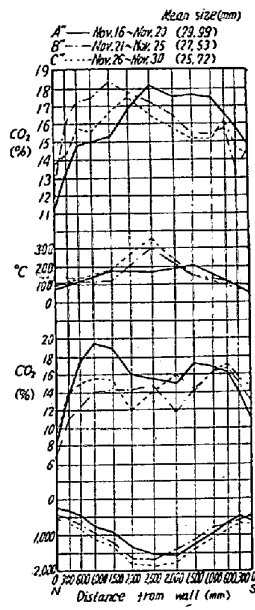


Fig. 11.

以下の影響が大きく、また平均粒度の高いものほど高い。なお通風性より考えて実績より $V/P=0.85$ 以下になると棚つりを生じるので限度としては平均粒度12mm, 3mm以下23%, 10mm以下55%は危険である。

B) Ore/Cokeと粒度との関係は若干鉄石の性質によつても異なるが、3mm以下の多いほど小さくなり50~3mmの多いほど大きくなる。

なおこの試験の範囲では10mm>および>50mmについては判然とした結果は出なかつた。

C) コークス比と粒度の関係は10mmおよび3mm以下の多いものほど悪い結果を示している。とくに3mm以下の影響が大きい。これは品位および通風の点から併せ考えれば妥当である。また平均粒度は30mm位までは多いほどよい。

D) またこれより粒度の小さいものは出鉄量の少いことを示している。

E) ガス分析についてみるとストックライン下では CO_2 はストックライン上より低く、またCOは反対に高い。また変動も上部より下部が大きい。 $\text{CO}_2\text{-R}$ は50~3mmの多いほど変動は少なく炉況のよいことを示している。A, B, C, DについてはFig. 12に示すごとくである。

F) 炉芯と羽口前ガス分析にてはFig. 13に示すごとく先端のCOの多いほど炉芯は深い、すなわちこれはCOの多いほど熱のきいていることを示す。

G) 粉鉄の多いほど銑鉄成分におよぼす影響は多い傾向にある。なおこの間コークスの性質には大きな差はみられなかつたので判然とした結果はえられなかつた。

V. 結 論

八幡製鉄所東田第六熔鉄炉において装入物程度を主体としてそれと炉況との関係の試験を行つた結果より考察し焼結鉄を40%使用した場合磁鉄鉱は平均し17mm最大30mm最小3mmにしたものまた赤鉄鉱では平均27mm最大50mm最小3mmに揃へたものが一番優秀な成績をおさめるようである。とくに高品位塊鉄試験では0.597のコークス比での操業を行いえた。なお鉄石の粒度と炉内の通風性および鉄石自体の還元性との関連はとくに重要であり、鉄石が装入された場合還元が同一のレベルで行われるよう鉄石に応じた粒度の調節が必要であり将来通風性と還元性の各種の試験が行われ一日も早くこの方向に到達することを希望してやまない。

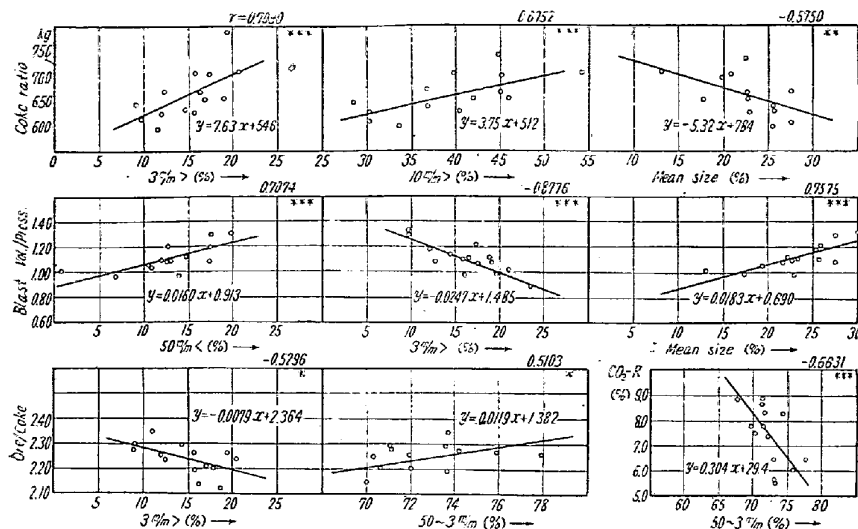


Fig. 12. Relation between particle size of burden and operation factors.

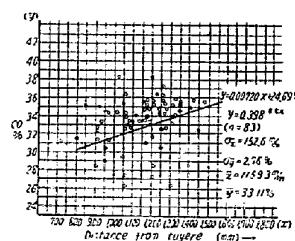


Fig. 13. Relation between distance from center of B.F. and CO content in gas at tuyere level.

終りにこの実験の指導に当たられた和田製鉄部長その他実験に従事された方々に感謝の意を表します。

(昭和 31 年 10 月寄稿)

大型鋼塊における ν 偏析について (I)*

河 合 正 吉**

ON THE ν -SEGREGATES OF LARGE STEEL INGOTS

Masayoshi Kawai

Synopsis:

In succession of the investigation about the A -segregates of large steel ingots, the author is in the way of investigation about the ν -segregates of ingots. He reported here some results of investigation about the ν -segregates as an intermediate report.

At the bottom solidification of ingots the author finds the fact, that dendritic crystals grow after the completion of zone of columnar crystal to some but so much restricted extent. This fact lets him suppose, that the occurrence of free crystals in front of solidified dendritic shell becomes already considerably vigorous even just after the start of the so-called dendritic crystallization, and that dendrites at the bottom are arrested to grow by the shower of free crystals formed in front of themselves, while the growth of dendrites at the side is not so arrested.

And in the course of formation of zones of sedimentary and free crystal, free crystals being created in front of the solidified side shell are presumed to sink downwards and to be piled up on the solidified bottom shell, forming inverted conical piled surfaces with some stationary inclination in succession. The author describes the ν -segregates as those formed under the influence of these conical surfaces. Then, it is observed from the actual results, that the ν -inclination of ν -segregates has close correlations with the ratio of height to diameter of ingots and the dia-ratio of zone of free crystals; and some explanations are given. In conclusion the author refers to the relations between the flaws in ν -segregates and various manufacturing conditions.

* 昭和 24 年 4 月本会講演大会にて発表 ** 三菱製鋼, 長崎製鋼所