

# 白銑材質管理についての一考察

— キュポラスラッグ中の FeO の影響について —

小山代三郎\* 久保圭史\*\*

## A Study of the Quality Control on White Cast Iron — Effect of FeO Present in Cupola Slag —

By Daisaburō Koyama and Keishi Kubo  
Kuwana Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The quality control of white cast iron represents an important stage in the manufacture of malleable iron under complete quality control system. The characteristics of white cast iron are considered dependent on its chemical composition as well as on the amount of gas content. Particularly in duplex melting by means of the cupola and the electric furnace, such as adopted at the Kuwana Works, the operation of the cupola takes an important part. Recent reports available indicate to several effects of FeO contained in slag in cupola on the melting operation. To see these effects more in detail, the writers conducted an elaborate investigation in this respect as well as the effect of FeO in cupola slag on molten iron and found the followings:

- (1) The complete control of Si and Mn in white cast iron must include the control of FeO in slag.
- (2) It is important to control CaO for the control of FeO in slag.
- (3) The mottling of white iron decreases as FeO increases in slag, but it is at the sacrifice of graphitization rate, fluidity and mechanical properties of the iron.

### 〔I〕 緒 言

黒心可鍛鑄鉄用白銑の熔製に際しては、これを治金的にみると (1) 完全な白銑鑄物であること。

(2) 焼鈍が容易であること。

上項2項目を満足する白銑を熔製することが必要である。これらを左右する最大因子と考えられるものは、その白銑に含有される化学組成である。しかし一定の作業標準の下に作業が続けられても相当の変動がある。われわれは白銑の成分管理を行ってきたが、その間の各種成分の変動状況を調査し、現在の作業標準の補足を行い、品質保持向上の上から重点的に適切な管理を行うため特にキュポラ操業の重要性からスラッグ中の FeO と熔銑の Mn, Si との関係その他について二、三考察を行い、かつ FeO と熔銑の諸性質との関係について調査研究を行い以て熔解管理の完全を期し、かつ熔解作業の一指針とした。

\* \*\* 日立製作所桑名工場

### 〔II〕 操 業 状 況

使用した炉は 7t キュポラと 5t 電気炉で、キュポラと電気炉による二重式熔解法で電気炉における冷材の使用量は 3~7% である。冷材は成分調整として鋼屑を使用した。

製品は主として管継手でその材質は、JIS, G 5701 FCMB 28 (抗張力 28 kg/mm<sup>2</sup> 以上, 伸び 5% 以上, 曲げ角度 90° 以上)と規定してある。キュポラにおける地金配合を第1表に示す。

第 1 表 キュポラの地金配合  
Table 1. Mixing Rate of Materials used in Cupola

材 料 配 合	地 金			燃 料 コークス
	銑 鉄	鋼 屑	戻 屑	
%	4~11	30~43	52~60	10~11.5



〔III〕 アクションすべき点の原因について

過去1箇年における管理図によるアクションすべき点の原因調査を行った結果を第2表に示す。第2表によつてあきらかに地金属材料およびコークスなどの原材料の管理，作業員の教育のほかに，操業不調および原因不明など操業自体によるものもあり，操業管理も重要な要素である。実際操業特にキュポラ操業においては種々な状況変化があり，その操業いかんは製品に大きな影響をおよぼす。キュポラの操業状況を判断するのにキュポラのスラッグの状況で判断するのが有効である<sup>(1)(2)(3)</sup>。

〔IV〕 調査結果とその考察

(1) C, Si の関係について

従来の研究と同じ傾向で同一白銹化傾向の場合にはつぎのごとくなる。試料の分析結果を第3表に示す。第3

第2表 アクションすべき点の原因調査  
Table 2. Source of Action Point

項目	C	Si	Mn	S	P	Cr	計
原因							
鋼 層						11	11
銹 鉄					11		11
コークス品種	13			14			27
コークス比	8			2			10
作業員過失	10	3					13
操業不調	5	7	8				20
原因不明		6	4				10
対象製品変更		4					4
係員過失			2				2
合計	36	20	14	16	11	11	108

第3表 同一白銹化傾向の場合の C, Si の分析結果 (%)

Table 3. Results of Analysis Carbon and Silicon at the Same Mottling (%)

成分 No.	C	Si	成分 No.	C	Si
1	2.85	0.90	16	2.65	1.07
2	2.80	0.93	17	2.64	1.08
3	2.79	0.92	18	2.63	1.06
4	2.77	0.95	19	2.62	1.08
5	2.76	0.98	20	2.61	1.11
6	2.75	0.93	21	2.60	1.09
7	2.74	1.01	22	2.60	1.11
8	2.71	1.00	23	2.58	1.16
9	2.71	1.03	24	2.57	1.14
10	2.70	0.99	25	2.56	1.18
11	2.70	1.05	26	2.54	1.13
12	2.69	1.04	27	2.54	1.17
13	2.66	1.04	28	2.53	1.20
14	2.66	1.08	29	2.52	1.20
15	2.65	1.06	30	2.51	1.18

表より C, Si の関係式を求めてみるとつぎのごとくなる。

$$C=3.575-0.866 Si$$

つぎに相関係数 (r) を求めるとつぎのごとくなる。

$$r=-0.971 \quad \therefore r^2=0.943$$

ゆえに C と Si は非常に密接な相関関係にあることが解る。なお相関係数の有意性の検定を行うと，

$$F_0=\frac{r^2(n-2)}{1-r^2}=463.2 > F'_{28}(0.01)=7.64$$

となり  $r=-0.971$  は 1% 以下の危険率で高度に有意である。つぎに C, Si の関係を第1図に示す。

以上の結果から C, Si の関係については実際現場作業において出湯成分の判定を行う場合には試験棒破断面のモットル発生状況によつて行つては，同一のモットル発生状況においては，すなわち白銹化傾向同一の場合には C, Si は 100% 近くの相関関係にあるゆえ，白銹化傾向が常時同一である前提の下には，C, Si はどちらか一方を管理すればよい。

(2) スラッグ中の FeO と熔銹の Si 損失の関係

実際操業より試料を採取しスラッグ中の FeO と熔銹の Mn, Si の損失との関係を求めた。採取した試料の分析結果および損失は第4表に示す。第4表より関係式を求めてみるとつぎのごとくなる。

$$Si \text{ loss}=3.44FeO-1.11$$

つぎに相関係数 (r) を求めるとつぎのごとくなる。

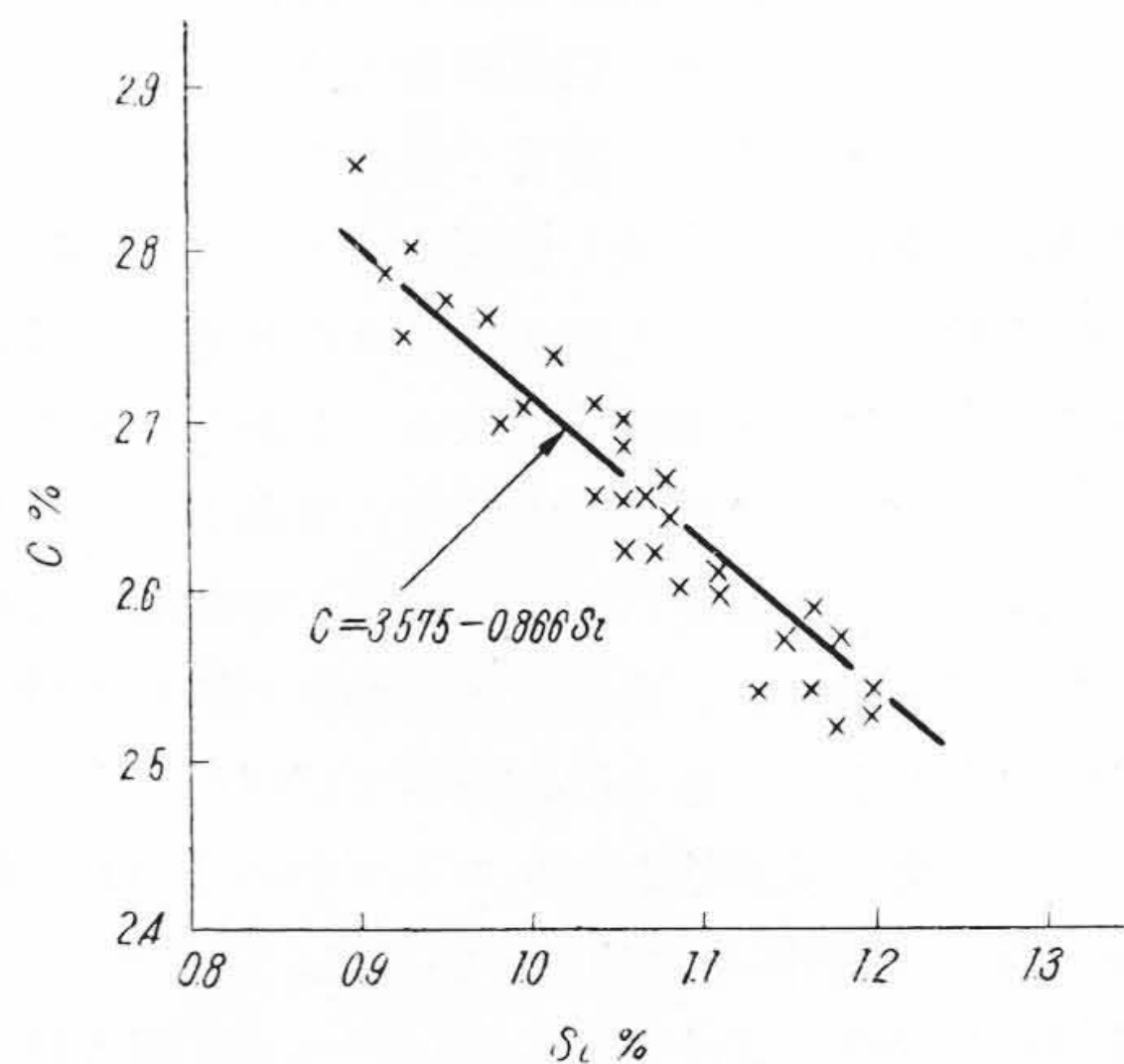
$$r=0.904 \quad \therefore r^2=0.82$$

ゆえに Si 損失の分散の約 82% は FeO に関係して変ることになる。なお相関係数の有意性の検定を行うと

$$F_0=68 > F'_{15}(0.01)=8.68$$

となり  $r=0.904$  は 1% 以下の危険率で有意である。

以上の結果を第2図に示す。



第1図 C% と Si% の関係  
Fig. 1. Relation between Carbon and Silicon at the Same Mottling

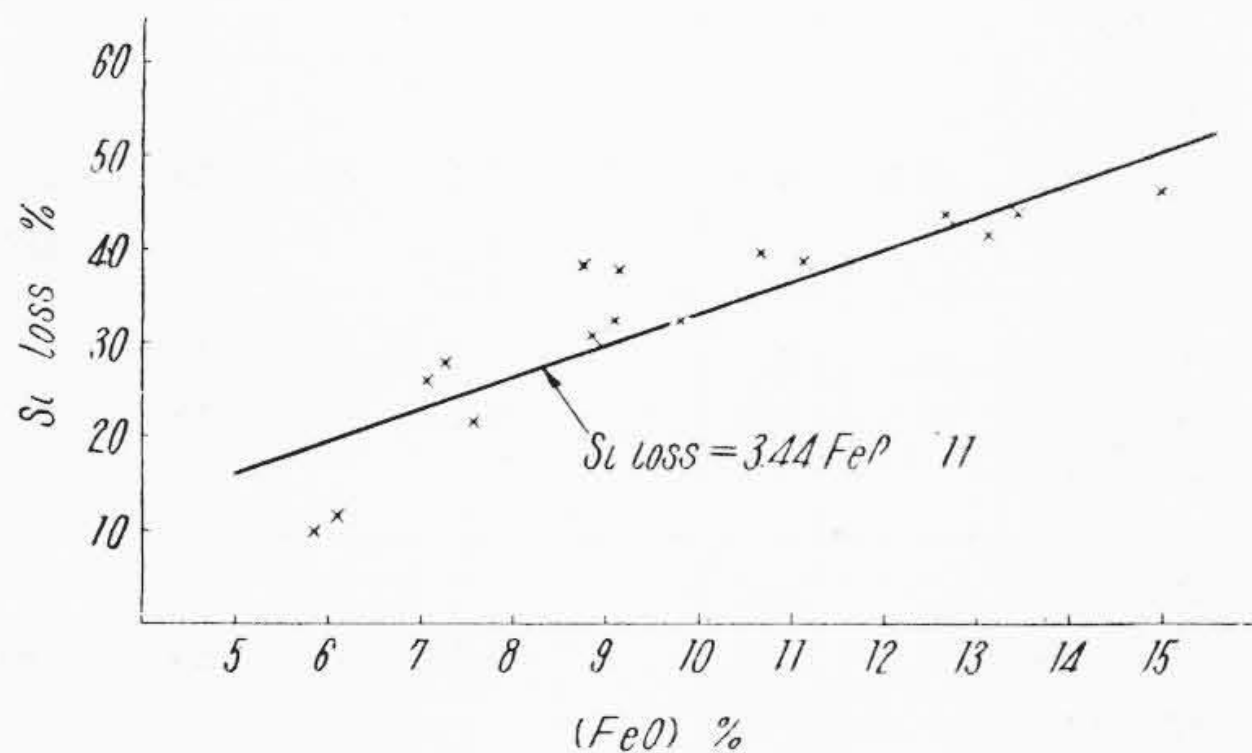


第4表 (FeO) と Si, Mn Loss

Table 4. Results of Analysis FeC in Slag and Silicon, Manganese Loss in Cupola

No.	FeO%	Si%	loss%	Mn%	loss%
1	5.92	1.61	10	0.58	10.8
2	5.97	1.60	11	0.61	6.2
3	7.14	1.35	25	0.49	24.5
4	7.14	1.34	25.5	0.56	14
5	7.57	1.40	22	0.48	26
6	8.76	1.24	31	0.43	34
7	8.91	1.15	36	0.44	32
8	9.06	1.22	32	0.43	34
9	9.33	1.12	38	0.41	37
10	9.76	1.23	31.5	0.44	32
11	10.60	1.08	40	0.40	38.5
12	11.06	1.10	39	0.38	41.5
13	11.14	1.09	39	0.37	43
14	12.90	1.05	41.5	0.37	43
15	13.05	1.06	41	0.34	48
16	13.55	1.01	44	0.33	49
17	15.01	0.97	46	0.31	52
計算値		1.80		0.65	

$$\text{loss}\% = \frac{\text{計算値} - \text{分析値}}{\text{計算値}} \times 100$$



第2図 スラッグ中の (FeO)% と Si loss% との関係

Fig.2. Relation between FeO in Slag and Silicon Loss in Cupola

(3) スラッグ中の FeO と熔銑の Mn 損失の関係

第4表より関係式を求めてみるとつぎのごとくなる。

$$\text{Mn loss} = 4.50\text{FeO} - 10.8$$

つぎに相関係数 (r) を求めるとつぎのごとくなる。

$$r = 0.956 \quad \therefore r^2 = 0.914$$

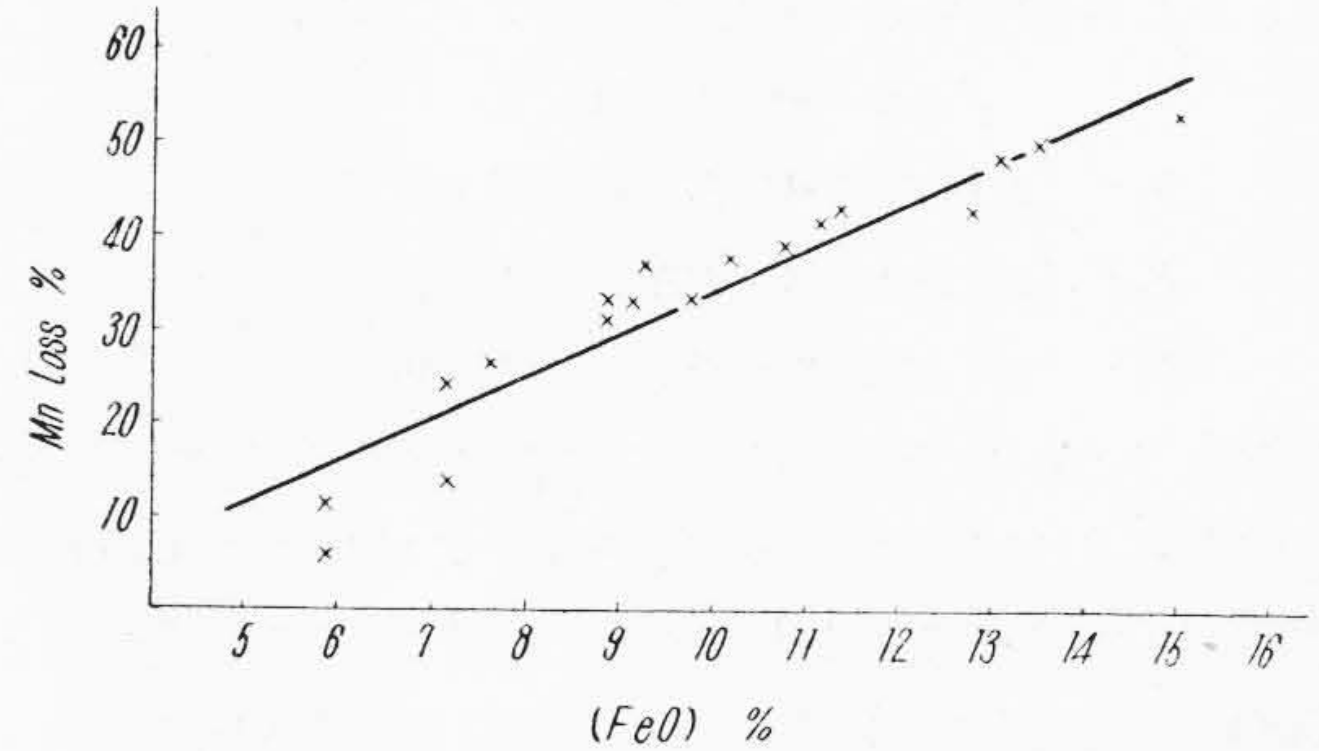
ゆえに Mn 損失の分散の約 91% は FeO に関係して変ることになる。なお相関係数の有意性の検定を行うと

$$F_0 = 159.4 > F'_{15}(0.01) = 8.68$$

となり  $r = 0.956$  は 1% 以下の危険率で有意である。

以上の結果を第3図に示す。

以上(2),(3)の結果からスラッグ中の FeO と熔銑の Mn, Si の損失とは非常に密接な関係にあることがわか



第3図 スラッグ中の (FeO)% と Mn loss% との関係

Fig.3. Relation between FeO in Slag and Manganese Loss in Cupola

第5表 スラッグの分析結果

Table 5. Results of the Analysis of the Slag

No.	SiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	FeO	CaO/SiO <sub>2</sub>
1	44.52	1.70	39.37	3.76	0.88
2	44.58	2.34	35.92	4.86	0.81
3	43.78	2.44	37.86	5.26	0.86
4	43.99	1.83	39.22	5.53	0.89
5	44.12	2.49	37.68	5.57	0.85
6	42.94	1.85	38.76	7.13	0.89
7	44.92	3.18	33.15	7.73	0.74
8	46.14	2.62	34.64	8.20	0.75
9	48.06	3.52	30.16	9.55	0.63
10	45.06	3.33	33.31	10.31	0.74
11	46.04	3.71	32.63	10.63	0.71
12	47.82	4.07	29.36	11.55	0.61
13	47.23	3.90	28.39	12.92	0.60
14	47.80	3.50	23.66	15.98	0.49
15	48.22	4.17	21.42	17.61	0.44

る。したがって出湯成分中の Mn, Si を管理する上にはどうしてもスラッグ中の FeO の管理を行わなければ、完全な管理を行うことができない。Mn, Si のキュポラにおける変動はほとんどスラッグ中の FeO に影響されると考えられる。

(4) スラッグ中の FeO と SiO<sub>2</sub>, MnO, CaO との関係

スラッグ中の FeO と他の組成と相互関係があるか最近のスラッグの試料から重相関によつて関係式を求め、その回帰係数の検定を行つてみた。第5表に試料の分析結果を示す。第5表によつて回帰係数を求めてみるとつぎのごとくなる。

$$b_1(\text{SiO}_2) = -0.57899$$

$$b_2(\text{MnO}) = 0.54066$$

$$b_3(\text{CaO}) = -0.80364$$

したがってこれらの関係式はつぎのごとくなる。

$$\text{FeO} = 60.49 - 0.58\text{SiO}_2 + 0.54\text{MnO} - 0.80\text{CaO}$$



しかし各回帰係数の検定を行つてみると、

$$f = n - m - 1 = 11$$

$$b_1: |t_1| = 1.304 < t(5\%) = 2.201$$

$$b_2: |t_2| = 0.644 < t(5\%) = 2.201$$

$$b_3: |t_3| = 5.322 > t(1\%) = 3.106$$

となり  $b_1, b_2$  は 5% の危険率で有意でなく  $b_3$  のみか有意である。以上の結果より、FeO に対しては CaO が相互関係があることがわかった。理論的にも FeO と CaO とが相関関係にあるのが当然であり SiO<sub>2</sub> についてはこの実際作業の試料からはあまり大きな変化がなく、現在の原材料および操業法による実際作業においては SiO<sub>2</sub> が大きく変化することは不可能であるから CaO を管理することにより十分 FeO を管理することができる。その際スラッグ自体の熔融点および流動性より、CaO/SiO<sub>2</sub>=0.9 ぐらいを目標とすること、また CaO をはなはだしく増加すると熔銑との分離が困難となることなどを考慮すれば CaO の値には一定の範囲がある。

### [V] スラッグ中の Fe と熔銑の諸性質の関係について

以上の結果から出湯成分の管理を行う上にキュポラの操業管理すなわちキュポラのスラッグ中の FeO を十分管理しなければ白銑中の Si, Mn を完全に管理することはできない。つぎにキュポラの操業が白銑熔湯におよぼす影響について白銑化状況、黒鉛化速度、流動性、機械的性質などについて研究を行つた。

#### (1) 実験方法

前の実験と同様 7t キュポラと 5t エルー式電気炉とにより行つたもので、つぎの三種に分け各 2 回にわたつて試験を行い、スラッグ中の FeO を種々変化させてその影響を検討した。

(A) 風量を変える。

(B) コークス比を変える。

(C) 石灰石比を変える。

かつこの実験に使用した原材料は条件を一定にするため鋼屑はボルト、ナット、コークスは T 社ガスコークス、Fe-Si は 45%Si, Fe-Mn は 75%Mn とした。

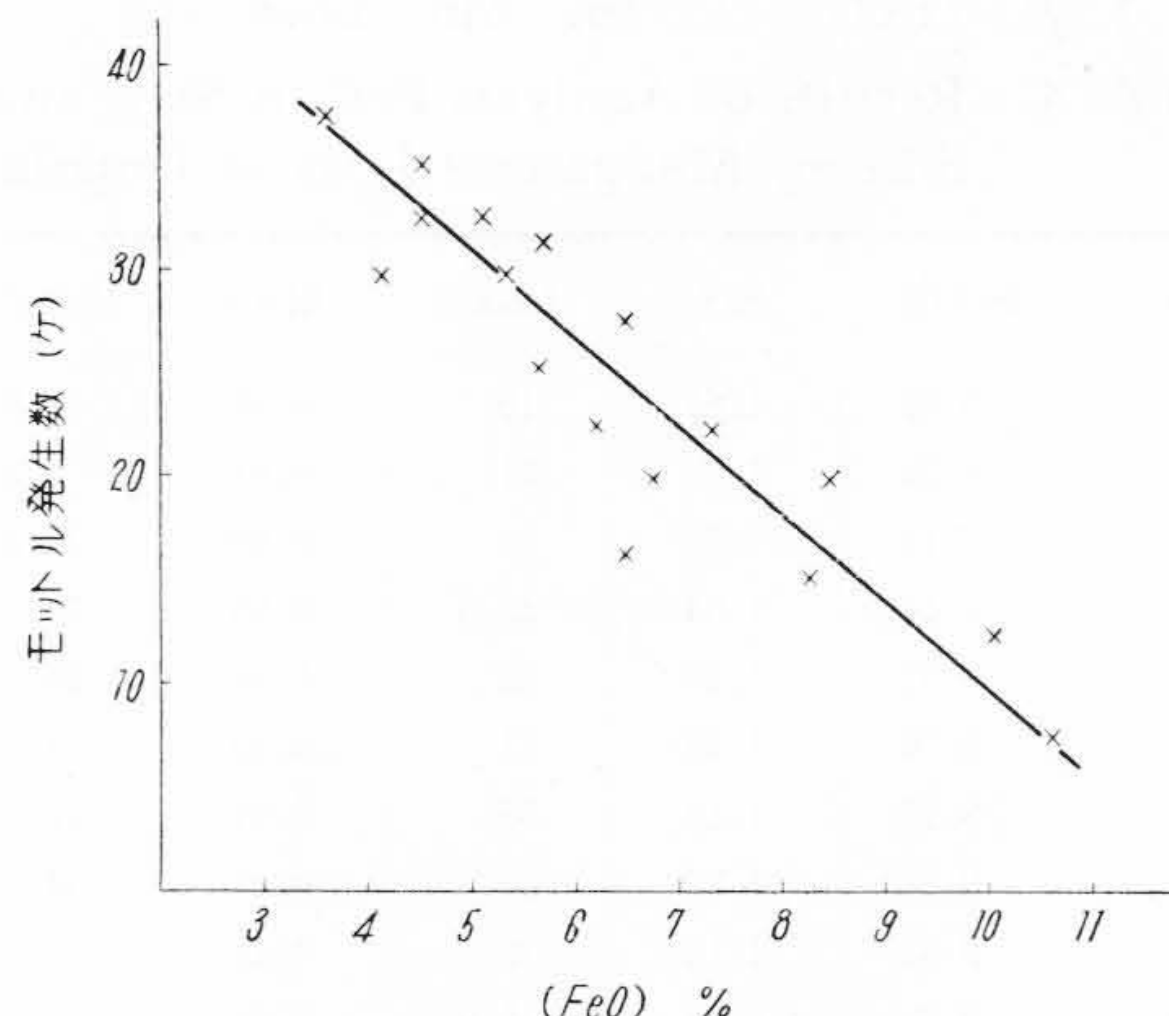
キュポラより出湯した熔銑は一旦電気炉に受湯して一定の電気炉操業すなわち電圧 110V, 電流 4,000A, 保持時間 5 分とし電気炉より出湯して試料型枠に注湯して試験棒を作成した。

#### (2) 実験状況

キュポラにおける操業状況の概要を第 6 表に示す。

#### (3) 実験結果

(a) 白銑化については 40×50mm の破断面のモットルの発生状況によつて判定を行つてみると第 4 図



第 4 図 スラッグ中の FeO と白銑化の関係

Fig. 4. Relation between FeO in the Slag and the Mottling

第 6 表 キュポラ操業諸元  
Table 6. Conditions of the Cupole Operation

実験記号		配 合 (%)							風量 (m <sup>3</sup> /min)
		コークス	Fe-Si	Fe-Mn	石灰石	ソーダ灰	鋼屑	白銑屑	
A	1								80
	2	10	2.5	0.3	7	0.1	45	55	100
	3								120
A'	4								80
	5	10	2.5	0.3	7	0.1	45	55	100
	6								120
B	7	7							
	8	10	2.5	0.3	7	0.1	45	55	90
	9	13							
B'	10	7							
	11	10	2.5	0.3	7	0.1	45	55	90
	12	13							
C	13				4				
	14	10	2.5	0.3	7	0.1	45	55	90
	15				10				
C'	16				4				
	17	10	2.5	0.3	7	0.1	45	55	90
	18				10				

のごとく FeO が増加するにしたがつて白銑化しやすい傾向にある。

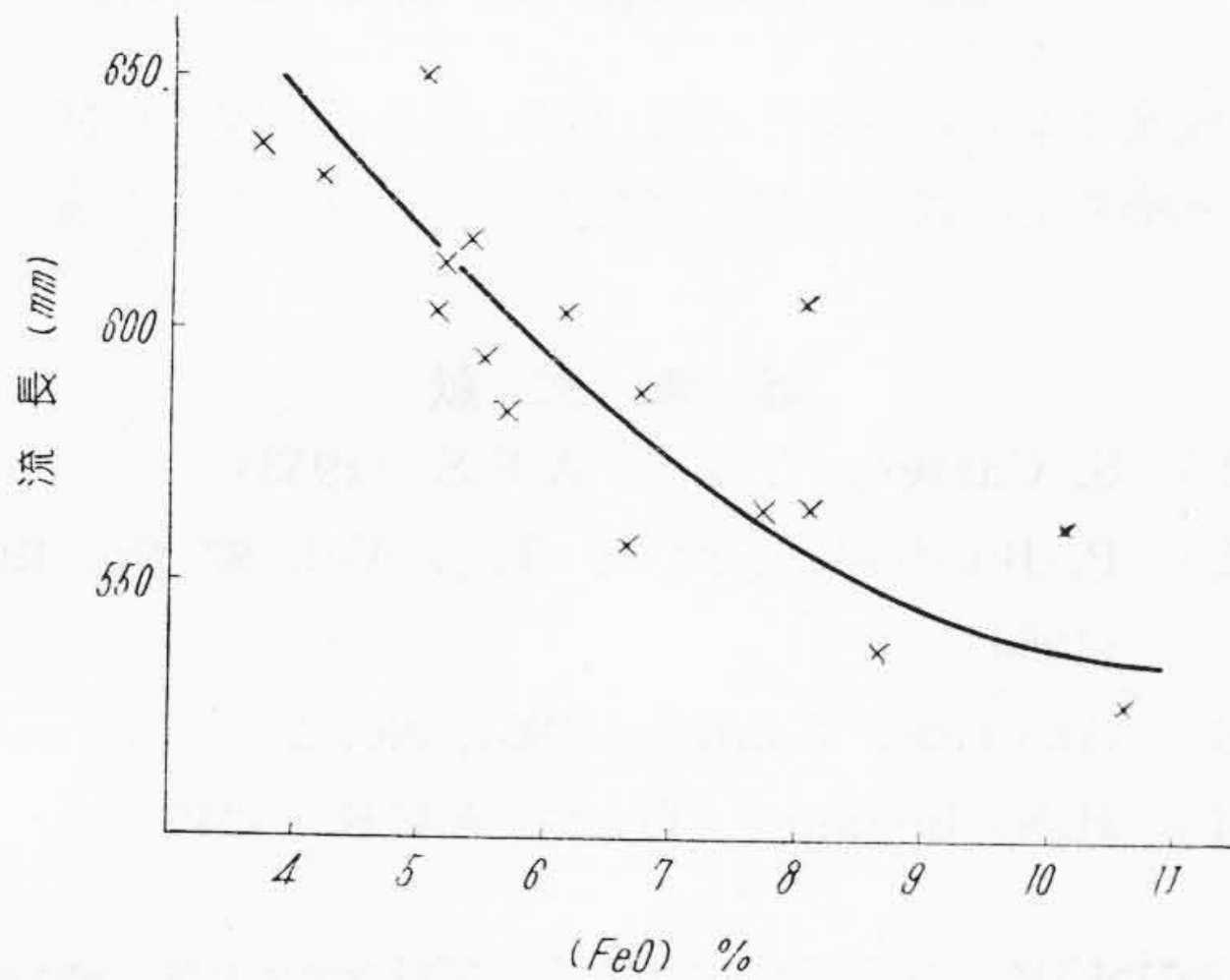
(b) 流動性について、流動性の試験は各種の条件を一定にするのが難しいが、渦巻状の試料型枠に注湯してその流長を測定した結果を第 7 表に示す。注湯温度は 1,400°C に一定した。第 7 表の流長と FeO の関係を第 5 図に示す。第 5 図によつてあきらかに FeO の増加とともに流動性は悪くなる傾向にある。

(c) 黒鉛化速度については、各試料の熔湯を  
厚さ 10×幅 15×長さ 100 mm

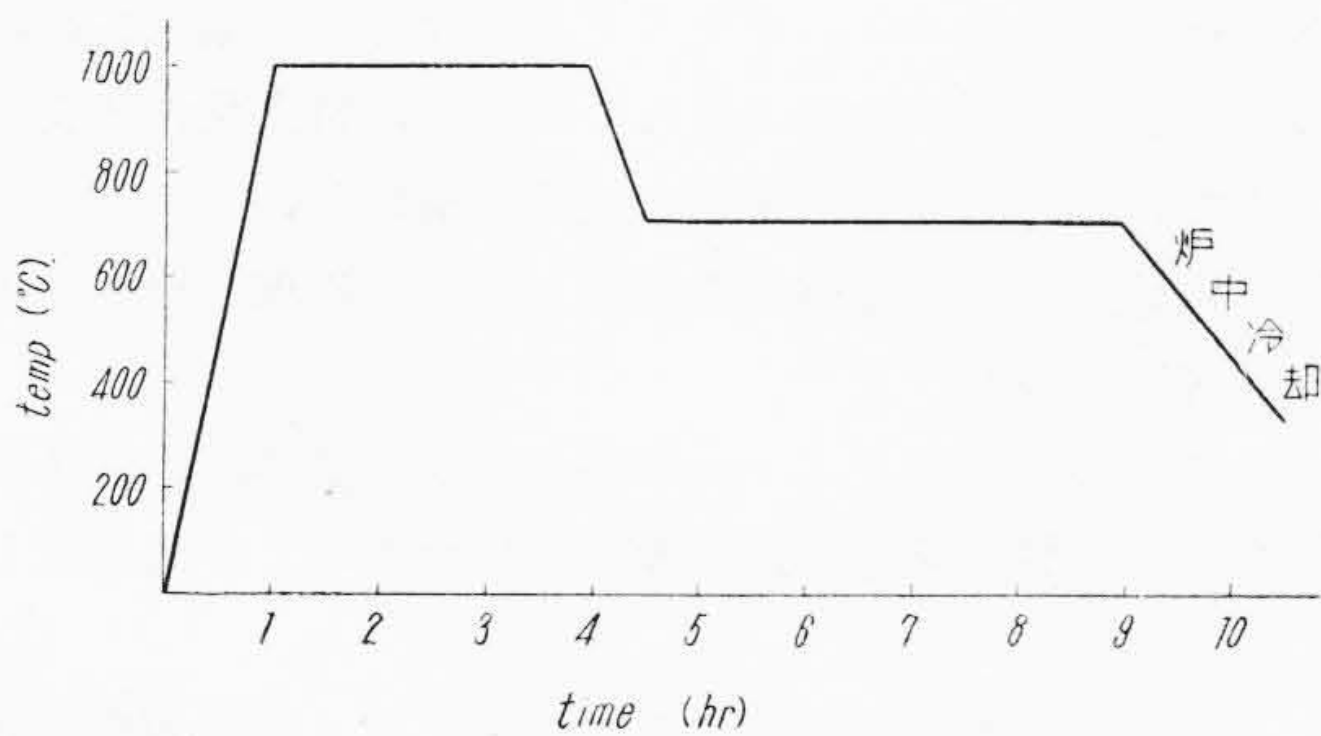


第7表 流動性試験結果  
Table 7. Results of the Fluidity of the Test Piece

No.	FeO(%)	流長(mm)	No.	FeO(%)	流長(mm)
1	4.31	630	10	6.95	550
2	7.92	605	11	5.53	590
3	10.31	560	12	5.26	620
4	4.86	650	13	8.76	540
5	8.20	570	14	6.75	590
6	10.63	520	15	6.19	600
7	8.65	530	16	5.72	580
8	7.73	570	17	5.46	620
9	5.03	610	18	3.76	630



第5図 スラッグ中の FeO と流長の関係  
Fig. 5. Relation between FeO in the Slag and the Fluidity



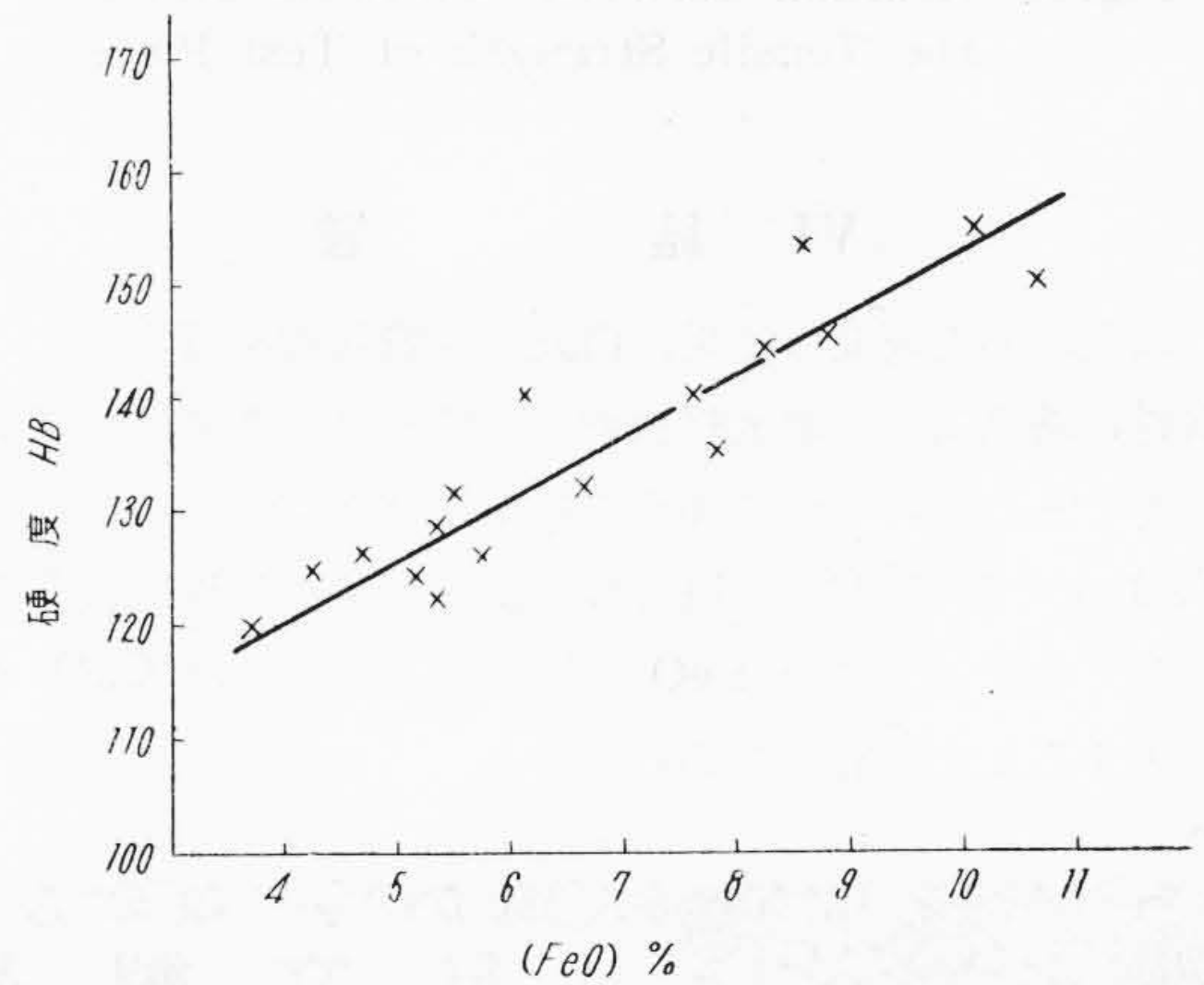
第6図 試験棒の焼鈍熱曲線  
Fig. 6. Heat Cycle of Annealing of Test Piece

の板状の砂型に鑄込み作成したものを第6図に示す熱曲線によつて迅速焼鈍を行い硬度を測定した結果を第7図に示す。第7図よりあきらかに FeO の減少とともに硬度は低く、黒鉛化速度は早い。

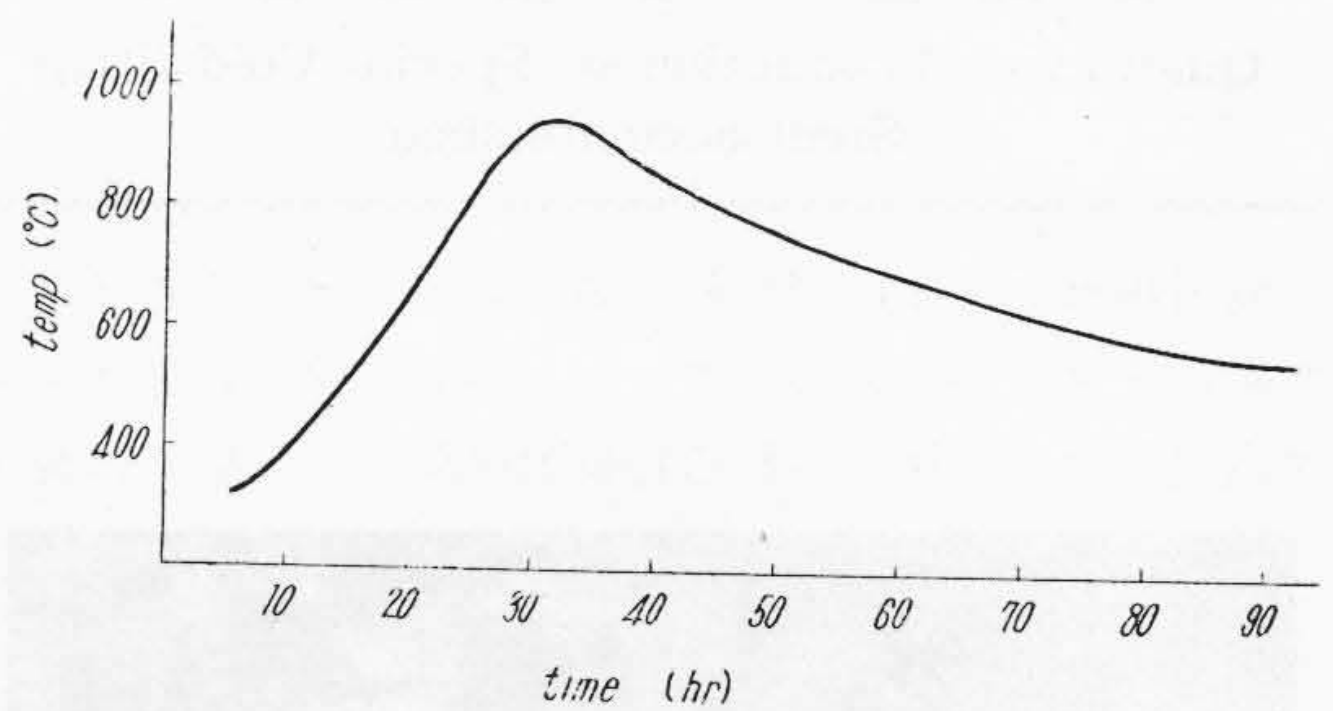
(d) 機械的性質について、各試料は第8図の熱曲線にて現場のトンネル焼鈍炉を用いて処理した結果を第8表に示す。FeO と機械的性質の関係を第9図

第8表 試験棒の機械的性質の結果  
Table 8. Results of the Mechanical Properties of the Test Piece

No.	FeO (%)	抗張力 (kg/mm)	伸び (%)	No.	FeO (%)	抗張力 (kg/mm)	伸び (%)
1	4.31	32.6	10.8	10	6.95	29.7	8.0
2	7.92	29.4	8.8	11	5.53	30.7	9.3
3	10.31	25.7	7.3	12	5.26	31.0	9.5
4	4.86	30.6	8.9	13	8.76	29.2	7.0
5	8.20	26.0	3.5	14	6.75	29.5	8.8
6	10.63	24.1	2.7	15	6.19	30.7	10.3
7	8.65	27.5	5.0	16	5.72	30.6	8.4
8	7.73	28.8	7.8	17	5.46	30.0	8.6
9	5.03	31.5	8.7	18	3.76	30.8	9.0



第7図 スラッグ中の FeO と黒鉛化との関係  
Fig. 7. Relation between FeO in the Slag and the Graphitization

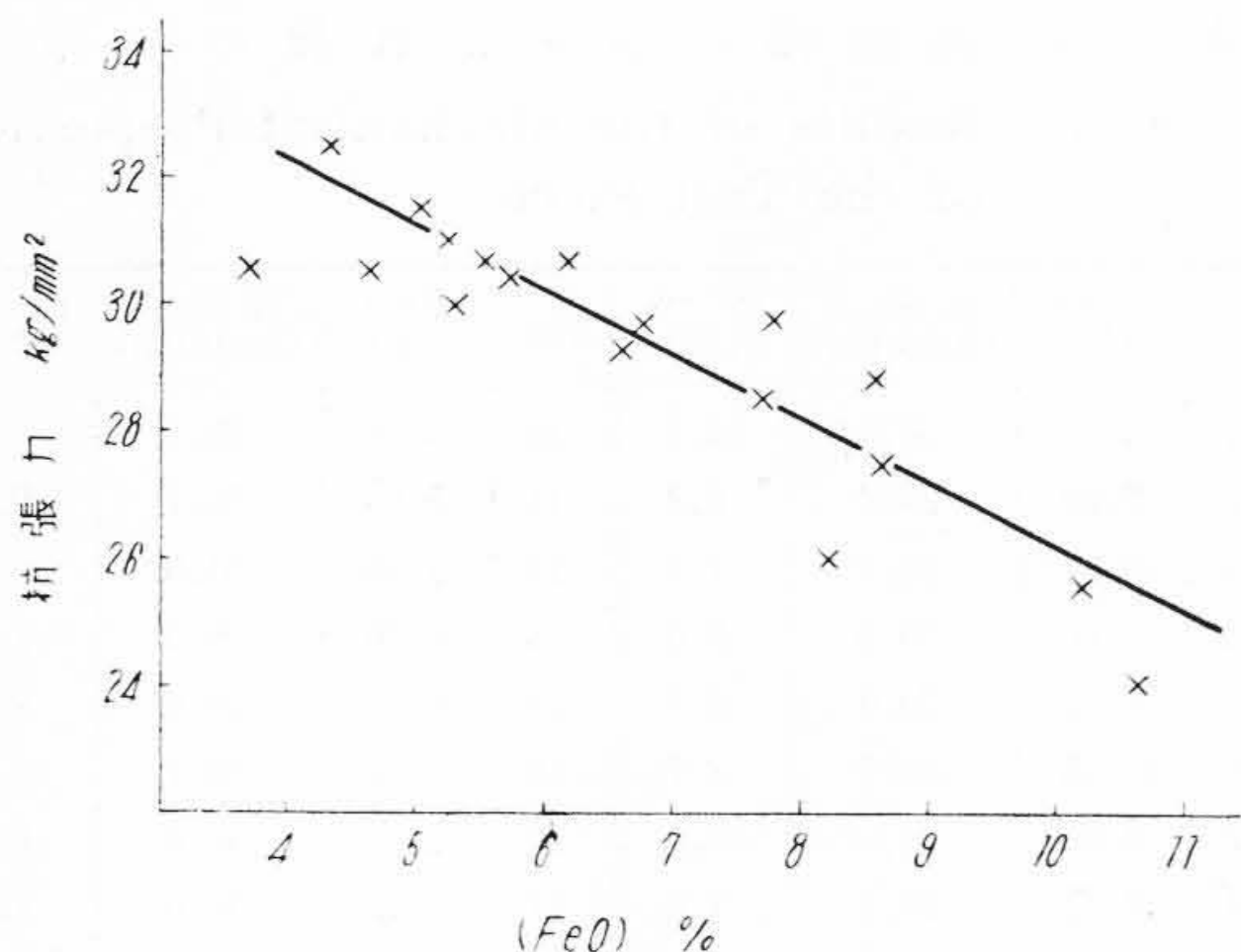


第8図 試験棒の焼鈍熱曲線  
Fig. 8. Heat Cycle of Annealing of Test Piece

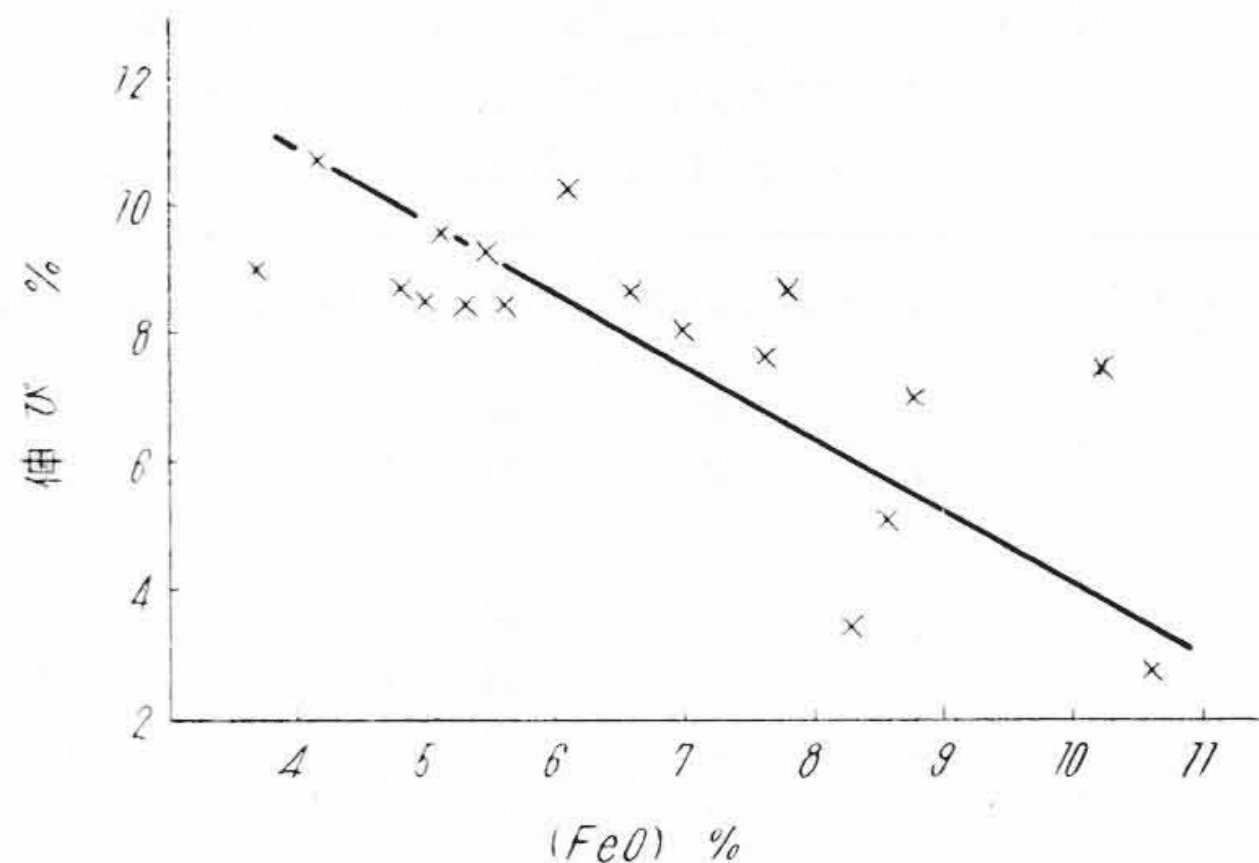
および第10図(次頁参照)に示す。第10図によつてあきらかに FeO が増加するに伴い、機械的性質抗張力、伸びが減少する傾向にある。

以上の結果より FeO が増加するにしたがい、白鉄化はしやすくなるが熔湯の流動性は悪くなり、黒鉛化速度および機械的性質も悪くなる。キューボラにおけるスラッグ中の FeO が熔湯の諸性質におよぼす影響が大きい。





第9図 試験棒の抗張力と FeO との関係  
Fig.9. Relation between FeO in the Slag and the Tensile Strength of Test Piece



第10図 試験棒の伸びとスラッグとの関係  
Fig.10. Relation between FeO in the Slag and the Elongation of Test Piece

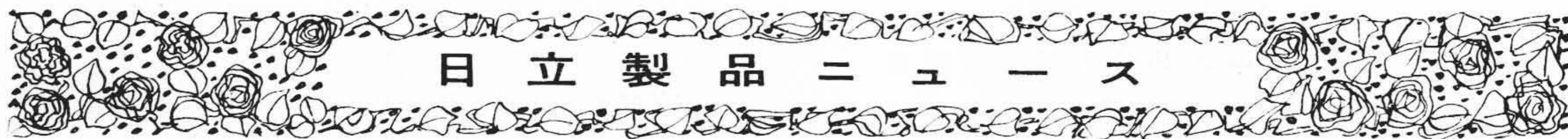
[VI] 結 言

以上の調査研究の結果、白銑の品質管理を行う上に、鋼屑、銑鉄などの地金属材料および燃料コークスの管理が必要であるが、これに加えて操業管理とスラッグ中の FeO を十分管理しなければ、白銑の完全な管理を行うことができない。また FeO を管理するためには CaO を管理することが有効である。

最後に本実験を行うに際し特に御指導を賜った日立製作所桑名工場杉工場長に深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) S. Carter: Trans. A.F.S. (1953)
- (2) P. Bardenheuer: F. T. J. Vol. 97 No. 1998 (1954)
- (3) American Foundry 1951, No. 2
- (4) H.N. Bogant: Trans. A.F.S. (1949)



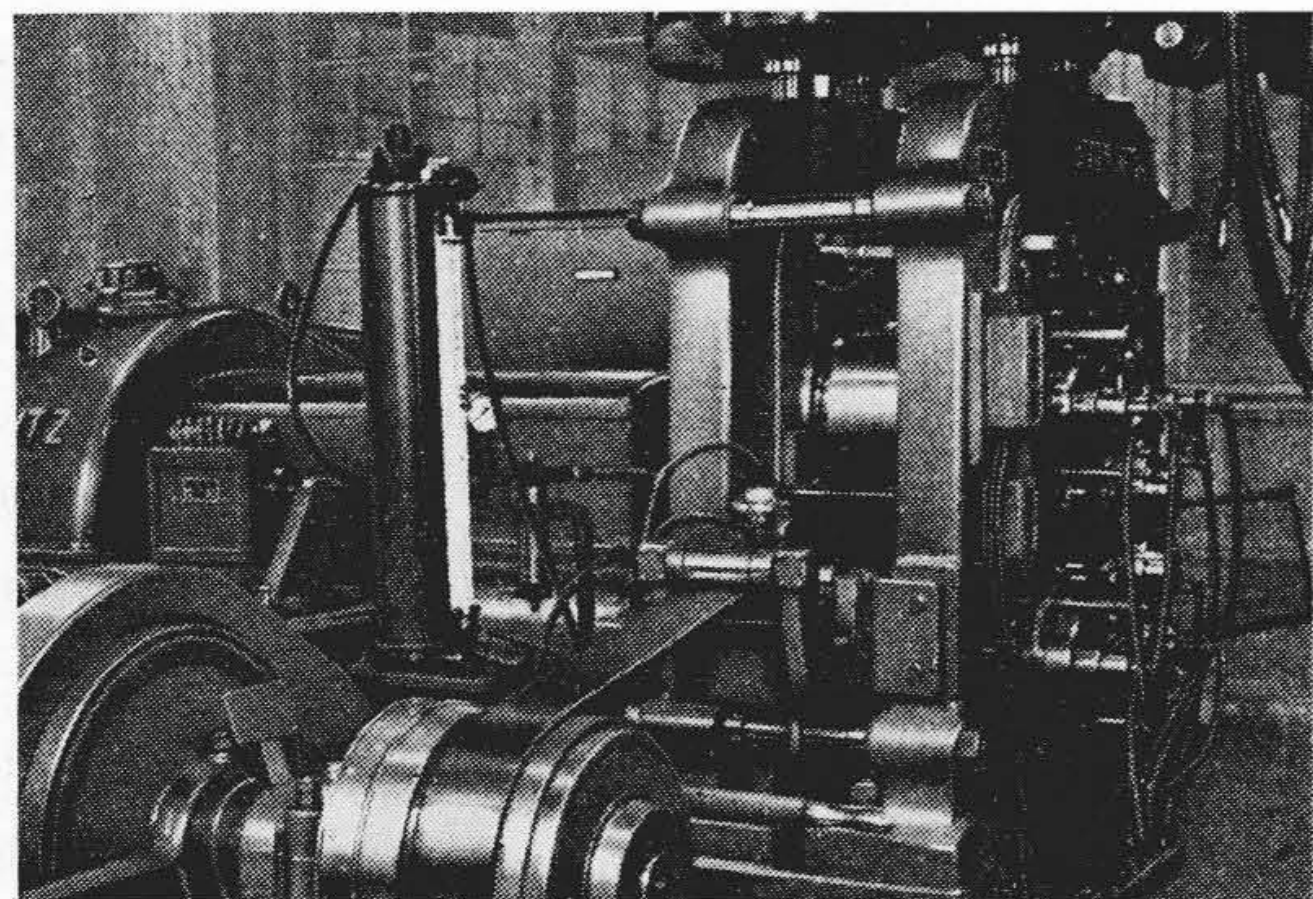
特殊磨帯鋼量産成る  
Quantative Production of Special Cold Strip Steel accomplished

時計用ゼンマイ、安全剃刀替刃、高級ペン先、メリヤス針、ドロッパー、ハックソー、バンドソー、ステンレス電縫管などに用いられる特殊磨帯鋼については従来

スエーデン、ドイツ、オーストリーなどより輸入され、これによつて国内で加工されていたが、日立製作所安来工場ではこれら高級磨帯鋼の生産に着目し、スエーデン鋼に匹敵する優秀な砂鉄を原料とする特殊鋼の研究に不断の努力を重ねて来た。

一方戦後いち早くドイツのシュミット製六段冷間圧延機を輸入し鋭意量産態勢を整えていたが、この程完成した。

これによる製品厚みの精度はスエーデン特級規格に相当しつぎの通りである。



第1図 特殊磨帯鋼圧延  
Fig.1. Rolling of Special Cold Strip Steel

厚み寸法 (mm)	許容差
0.07 未満	±0.002
0.07 以上 0.10 未満	±0.003
0.10 以上 0.15 未満	±0.005
0.15 以上 0.25 未満	±0.006
0.25 以上 0.40 未満	±0.009
0.40 以上 0.60 未満	±0.012
0.60 以上 0.90 未満	±0.015
0.90 以上 1.20 未満	±0.020