

ングアクションの経続時間が極めて短くなる。これらの現象は他の因子即ち η との相関関係が決定的なことを示すものである。

尙凝固速度 V と X との関係は

$$1/V = L/k^2(X + X/4 + X^2/8 + \dots)$$

(但し、 L は一辺の長さの $1/2$)

で表わされる。第 12 図ではこの第 1 項のみをとつたが $X > 0.4$ では第 2 項も無視出来ない。これについては凝固速度そのものは外殻凝固の後半では結果として余り影響せず、他の因子が強く働いていると考えるわけで、之を η として表現したことは屢々のべた通りである。

(iii) 熔鋼の物理的状态 (η) について

η については屢々のべて来たが、その本質については本データのみでは解明出来ない。只 η が X の 4 次曲線として近似的に表わしうるだろうという事は次の点よりいえる。

即ち、リムド鋼塊の凝固過程に於ては残熔鋼中には常に多少の浮遊結晶片があると考えられ、しかも残熔鋼は $X = 0.3 \sim 0.4$ 附近で凝固温度を通過して所謂凝固しやすい状態となる。

又大型鋼塊の数例³⁾では鋼塊頭部の縁の生長は注入後の時間の 2 乗に比例しているが、この時間は X に対して近似的に 2 乗の関係にあり、結局縁の生長は X^2 に略々比例する。しかして縁の生長は浮遊結晶片或は残熔鋼温度の降下等の物理的状态に支配されると考えられる故、結局 η は X^2 に比例することとなる。即ちこれが第 12 図曲線 2 の由来である。

要するに、 η は鋼塊凝固に対して極めて大きな役割を果すことは明かである。(昭和 28 年 9 月寄稿)

文 献

- 1) A. Hultgren, G. Phragmen: A.I.M.E. I. & S. Div., 135 (1939) p. 133
- 2) A. Hayes, J. Chipman: A.I.M.E. I. & S. Div., 135 (1939) p. 85
- 3) 小平 勇: 八幡技研報告 Vol. 16. No.1 (1937)
- 4) K. C. McCutcheon, J. Chipman: A. I. M. E. I. & S. Div., 131 (1938) p. 206
J. Chipman, C. R. Fondersmith: A.I.M.E. I. & S. Div., 125 (1937) p. 370

製鋼作業における品質管理実施の一例

下注鋼塊単重の變動要因と管理について

(昭和 28 年 10 月本会講演大会に於て講演)

茨木 英 治*・小 谷 良 男*

AN EXAMPLE OF APPLICATION OF STATISTICAL QUALITY CONTROL TO STEEL MAKING

(Sources of Weight Variation of Bottom-Cast Ingots and Their Control)

Hideharu Ibaraki and Yoshio Kotani

Synopsis:

It is easily recognized that improved and stable yield in rolling shop and guarantee of billets quality depend on the controlled ingots weights.

The variation of weights of bottom-cast ingots were statistically investigated through several experiments and the following application of statistical quality control was carried out to the sources of variations

1. Principal source of weight variations between stools was the height of castings. Therefore the heights of castings were controlled by the improvement of casting operation and the control charts

* 住友金屬工業鋼管製造所

of average weight of respective stools.

2. It was found that the factor of weight variation between stools depended on the inner volume of mould, and the dimensional tolerance was decided to specify ± 3 mm which was severer than the former tolerance ± 5 mm. Most of ingot moulds now purchased are within the tolerance of ± 3 mm.

3. Training of works and operation in accordance with standard directions were practiced in order to control the casting conditions.

As a result of these controls, the standard deviation of ingot weight was improved from the former $\sigma=20$ kg to $\sigma=16$ kg.

Consequently the standard ingot weight was reduced to the yield in a rolling shop increased by 0.5%, and billets quality was more guaranteed.

I. 緒 言

鉄鋼業に統計的品質管理の手法がとり入れられてから各工程の変動要因の解析、並びにその管理が行われ着々成果を取めている。

当鋼管製造所に於て数年前より America に輸出している油井管製造に当り、各工程の歩留向上、及び成品鋼管の品質向上、安定は当然ではあるが輸出用のため更にこのことが要求され努力を続けている。

下注水張り法により鑄込まれた鋼塊は内部に収縮孔を持ちこれが丸鋼となり製管される際管の内部に疵を発生することが多く鋼塊の圧延される際頭部が切捨られる。圧延作業の性質上この頭部及び丸鋼時尾部に発生する fish tail 部の切捨は一定寸法に切断することが望ましい。このように圧延歩留の安定、向上、丸鋼の品質保証のためには鋼塊重量の安定が先決であることは明らかである。

こゝに下注、水張り鋼塊の重量の変動要因の解析とその管理について簡単な手法を応用し実効をあげた一例について述べる。

II. 調 査 諸 元

1. 炉
50t 塩基性平炉
2. 造塊法
8 本立放射状丸定盤下注水張り法 3 定盤使用
3. 鋼種
K4, 0.4% 炭素鋼
4. 鋼塊寸法

Fig. 1 に造塊法、配置図を示す。

III. 調 査 結 果

下注法による鋼塊の重量の変動は定盤を単位として考

Table 1.

No.	名稱	上部寸法 mm	下部寸法 mm	鑄込長さ mm	重量 kg	備 考
1	F型	435φ	395φ	1,615	1,860	以前の型
2	改F型	450φ	420φ	1,760	2,240	27年8月より使用

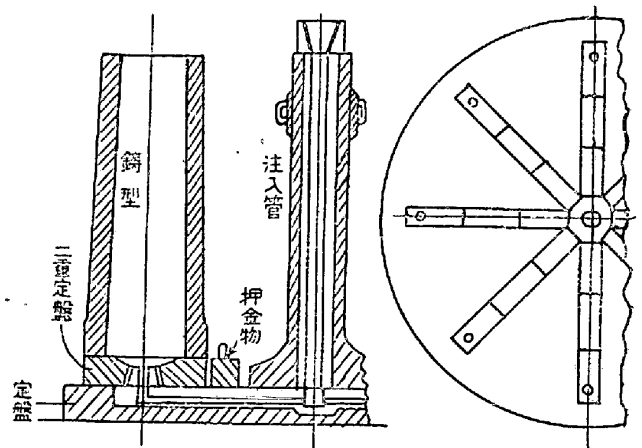


Fig. 1 下注造塊定盤配置圖

慮すれば定盤間と定盤内に分れる。その変動要因として考えられるものは、定盤間では鑄込長さによるものとなり、定盤内は種々造塊条件も作用するが定盤の傾き湯上りの不平等鑄塊の長さによるものが多いと考えられる。以下主として調査の順序に従つて要因の解析を述べる。

1. 鑄込長さによる変動

鑄込長さとは重量とは直線関係にあることは自明であるが、どの程度の関係にあるかを 27 年 8 月 F 型 1,860kg に鑄込まれた K 4 4 charge の鋼塊本体の長さ (x) 重量 (y) を測定し相関々係を調査し Fig. 2 に示す様な関係がみられた。

$$n=96 \quad \bar{x}=1,585\text{mm} \quad Sx=11.2\text{mm} \quad r=0.635^{**}$$

$$\bar{y}=1,873\text{kg} \quad Sy=18.7\text{kg} \quad Sz=14.1\text{kg}$$

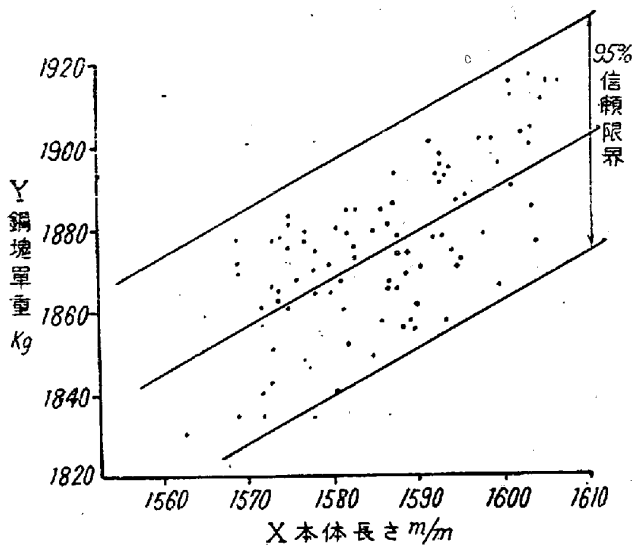


Fig. 2 鋼塊長さ、重量相關圖
 $y = 1.06x + 192.66$

即ち本体長さ \pm 3mmより \pm 5mmと云う厳格な寸法公差とし最近入荷の鑄型はほぼこの範囲に入るようになってくる。

即ち本体長さ \pm 3mmより \pm 5mmと云う厳格な寸法公差とし最近入荷の鑄型はほぼこの範囲に入るようになってくる。

即ち本体長さ \pm 3mmより \pm 5mmと云う厳格な寸法公差とし最近入荷の鑄型はほぼこの範囲に入るようになってくる。

即ち本体長さ \pm 3mmより \pm 5mmと云う厳格な寸法公差とし最近入荷の鑄型はほぼこの範囲に入るようになってくる。

即ち本体長さ \pm 3mmより \pm 5mmと云う厳格な寸法公差とし最近入荷の鑄型はほぼこの範囲に入るようになってくる。

即ち本体長さ \pm 3mmより \pm 5mmと云う厳格な寸法公差とし最近入荷の鑄型はほぼこの範囲に入るようになってくる。

即ち本体長さ \pm 3mmより \pm 5mmと云う厳格な寸法公差とし最近入荷の鑄型はほぼこの範囲に入るようになってくる。

この様に鑄込長さを先づ管理しなければならぬが、それでも尙大きな変動があり鑄型容量もそろえねばならぬことが分る。又鑄込長さの変動も定盤間は鑄込長さ指示の繰引きの誤差、各種注入条件が作用し定盤内は

5) 定盤の傾きによる鋼塊長さの差

6) 湯上りの不同による差

が作用すると考えられる。

2. 定盤内鋼塊長さの変動

続いて27年9月定盤内の鋼塊長さの変動が定盤内の傾きによるものか湯上りの不同によるものかについて改F型2,240kgに鑄込んだ数Chargeを調査した。

同一Pit内に繰返し鑄込みその定盤の平均鋼塊長さとの差で検定した結果をFig. 3図示す。

図の如く定盤の傾きが認められるものが多い。

又検定の結果定盤内の鋼塊長さの変動は定盤の傾きのあるものは無いものに比し当然のこと乍ら大きい。

従つて鑄込長さの管理を行うことも重要だが比較的簡単な定盤の傾きを修正しなければならぬ。

3. 鑄型の寸法誤差による鋼塊重量の変動

27年8月より従来のF型の断面を大きくした改F型に転換しているが、この際各dimensionの寸法公差を

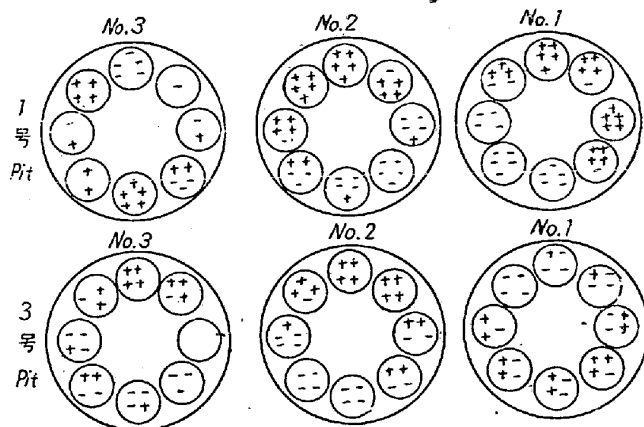


Fig. 3 定盤内鋼塊長さ變化圖

従来の $\pm 5\text{mm}$ より $\pm 3\text{mm}$ と云う厳格な寸法公差とし最近入荷の鑄型はほぼこの範囲に入るようになってくる。

Fig. 4にA, B両者の上部, 下部の一邊の長さの度数分布図の一例を示す。

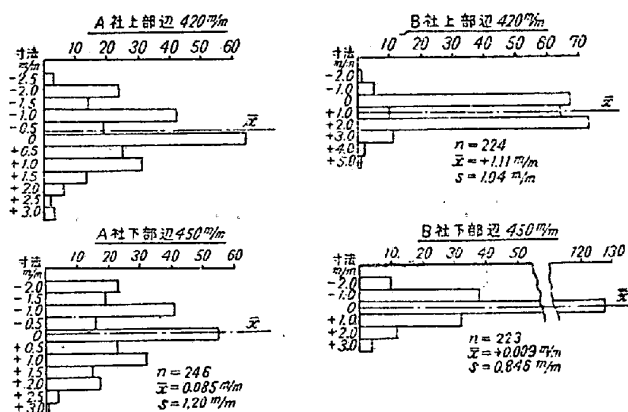


Fig. 4 納入鑄型寸法度数分布圖

改F型の基準寸法と寸法公差の許容最大, 最小の鑄型容量に鑄込まれた鋼塊重量の差は約65kgとなる。これを $\pm 3\sigma$ と考えれば $s = \text{約} 11\text{kg}$ と云える。

4. 共分散分析による要因調査

以上の如く鋼塊単重の変動は簡単な単相関々係を調査して鑄込長さ、鑄型容量の差による所が多いことが判明しているが、尙何回か同様の実験を繰返し定盤内変動の大きさを調査した。又共分散分析法によればこれ以上の知識が得られる。以下その一例を述べる。

- 1) 鑄型 改F型 2,240kg
- 2) 鋼種 K4 0.4% 炭素鋼
- 3) charge 3 charge
- 4) 測定単位 重量……1kg
長さ……5kg
- 5) 測定結果 Table. 2 に示す。

Table. 2
(A)

No.	1 定盤		2 定盤		3 定盤	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	1,710	2,242	1,710	2,257	1,710	2,251
2	10	48	10	61	15	59
3	10	55	10	47	15	58
4	10	57	10	54	15	67
5	10	52	10	41	15	67
6	10	40	15	60		
7	15	72	15	63		
8	15	66	15	62		

(B)

No.	1 定盤		2 定盤		3 定盤	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	1,720	2,270	1,715	2,271	1,715	2,264
2	20	67	00	30	20	80
3	00	40	15	75	10	45
4	20	54	15	60	10	56
5	20	56	20	75	10	60
6	20	41	15	70		
7	10	66	15	60		
8	10	55	15	75		

(C)

No.	1 定盤		2 定盤		3 定盤	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	1,710	2,283	1,710	2,277	1,690	2,205
2	00	45	10	79	1,710	2,220
3	10	66	10	86	10	50
4	10	51	15	80	10	67
5	10	69	10	50	00	05
6	10	45	15	93		
7	10	50	10	55		
8	00	30	15	80		

X: 鋼塊長さ mm, Y: 鋼塊単重 kg

Table. 3

Source of Variation	d.f.	S.S.	M.S.	F
Total	62	18,212.4		
Charge	2	278.8	139.4	0.67
Stool	2	2,266.0	1,133.0	5.49**
C×S	4	4,527.6	1,131.9	5.49**
error	54	11,140.0	206.3	

$$F^1_{34} = 3.68 \quad F^1_{34} = 5.01$$

6) 解析

a) y (重量) についての分散分析

重量の変動原因の中には

(1) 対象条件……Charge, 定盤, 鑄型等

(2) 人的条件……注入操作等

である。定盤間, Charge×定盤の交互作用がみられるが Charge には差はないと云う現場ではやゝ考えにくいことが起つている。

b) x (長さ) についての分散分析

Table. 4

Source of Variation	d.f.	S.S.	M.S.	F
Total	62	1,931.7		
Charge	2	355.5	177.8	7.17**
Stool	2	45.0	23.0	0.93
C×S	4	161.6	47.9	1.93
Error	54	1,338.7	24.8	

$$F^5_{54} = 2.54$$

これから x, ingot 本体長さ即ち鑄込長さの変動は Charge によつて起されるものであることがわかる。

定盤間で鑄込長さの差がなく Charge により差のあることは注入者が違えば考えられぬことはない。

c) 共分散分析—1

以上を総合し, 共分散分析表を作れば下の通り

Table. 5

Source of Variation	d.f.	Sums of Squares and Products			Errors of Estimate		
		Sx ²	Sxy	Sy ²	S.S. ¹⁾	f.	M.S.
Total	62	1,931.7	3,909.6	18,212.4	10,316.0	61	169.1
Charge	2	355.5	224.1	278.8			
Stool	2	45.0	320.0	2,266.0			
C×S	4	191.6	817.5	4,527.6			
error	54	1,338.7	2,547.1	11,140.0	6,293.7	53	118.7
					4,022.8	8	502.8

$$1) Sy^2 - \frac{(Sxy)^2}{Sx^2}$$

$$F = \frac{502.8}{118.7} = 4.24 \quad (1\%)$$

以上により鑄込長さ (x) をある基準で調整しても, Charge, Stool 間の差が有意であることが分る。

d) 共分散分析—2

c) の分析表より

Table. 6

Source of Variation	d.f.	Sx ²	Sxy	Sy ²	S.S. ¹⁾	f	M.S.
error	54	1,338.7	2,547.7	11,140.0	6,293.7	53	118.7

i) 長さにより修正した Charge 間の差を検定

Table. 7

Charge + error	56	1,694.2	2,771.2	11,418.8	6,886.0	55	—
長さにより修正された重量の Charge 平均の差を検定する項					6,293.7	53	118.7
					592.3	2	296.2

$$F = \frac{296.2}{118.7} = 2.50 \quad (F_{53}^{2, 1\%} = 5.01 \quad 3.17)$$

ii) 長さにより修正した Stool 間の差の検定

Table. 8

Stool + error	56	1,384.6	2,868.0	13,406.0	7,465.4	55	—
長さにより修正された重量の Stool 平均の差を検定する項					6,293.7	53	118.7
					1,171.7	2	585.8

$$F = \frac{585.8}{118.7} = 4.94^{**}$$

iii) 長さにより修正した Charge Stool の交互作用の検定

Table. 9

C×S + error	58	1,530.3	3,364.6	15,667.6	8,270.0	57	—
長さにより修正された重量の C×S の差を検定する項					6,293.7	53	118.7
					1,976.3	4	494.1

$$F = \frac{494.1}{118.7} = 4.16^{**} \quad (F_{53}^{4, 1\%} = 3.68)$$

1) $S.S. = SZ^2 = Sy^2 - \frac{(Sxy)^2}{Sx^2}$

ここで

x: 鑄込長さのみの人的操作に因るもの

y: 対象条件 (材料及びその他の諸条件)

長さによる人的操作

長さによる以外の人的操作

)} によつて起る.

Z: 材料その他の諸条件及び長さによる以外の人的操作により起る.

長さにより修正した時 Charge 間のみ有意な差が認められない.

e) 回帰の検定

即ち回帰に帰因する平方和の減少はいちじるしく有意であることがわかる. このことは実験精度が著しく増大したことを示している.

Table. 10

Source of Variation	d.f.	S.S.	M.S.
Sy ²	54	11,140.0	—
(Sxy) ² /Sx ²	1	4,846.3	4,846.3
error	53	6,293.7	118.7

$$F = \frac{4846.3}{118.7} = 40.82^{**} \quad F_{53}^{1, (Pr 0.01)} = 7.13$$

回帰係数

$$\hat{b} = \frac{Sxy}{Sx^2}$$

$$\hat{b} = \frac{2,547.1}{1,338.7} = 1.90$$

この回帰により修正した値を Fig. 5 に図示する.

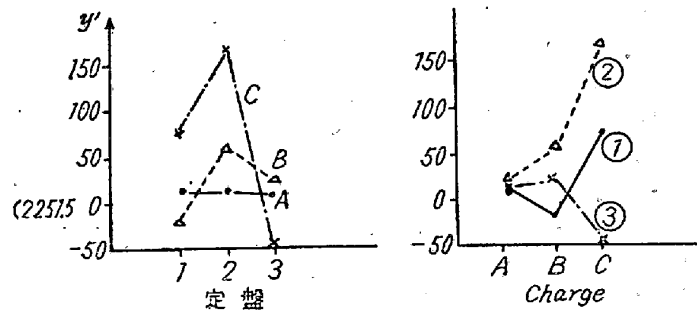


Fig. 5 回帰により修正した重量

f) 検討

今迄の結果を総合すれば (* 印有意性)

Table. 11

要因	y	x	Z
Charge	—	**	—
Stool	**	—	**
C×S	**	—	**

(1) y (重量) は定盤間の変動が大きいは考えられるが, Charge 間で差がないことは定盤と Charge の交互作用が強くでているのが影響しているのではなからうか? Charge 間に差がないことは少数例の Sampling の問題もあろう.

(2) x (鑄込の長さ) については Charge 間の差は注入者別により説明されようが, 定盤間に差がないことはやゝ不審に思われる. 併し乍ら同一 Charge 内は同一人が同一に近い条件で注入するのでこのようなことも起り得る.

(3) 共分散の誤差項は技術的に鑄型の容量の変動によると考えられるが, 設計図より計算される変動は s = 11kg 程度とみられ, ほゞ一致する.

(4) y を長さの回帰により修正する時、定盤間に差がある(2定盤が重い)ことは一番注入条件の安定する2定盤の水押効果が良く効くのではないかと想像される。併し、Chargeにより定盤毎の増加が違ふと云うことは特定の定盤に特定の鑄型容量のものを使用すること以外に考えられない。

5. 定盤平均単重の変動

日常作業として各 Charge は各定盤毎に鋼塊の重量を測定している。従つて毎月の定盤平均単重の分布はその都度整理検討している。27年9月前後の分布を示せば、Table. 12 のようになる。

Table. 12

年月	n	\bar{x} kg	s kg	C.V.%	備 考
27年 8月	203	1,866.1	13.2	0.71	F型 1,860kg
9	80	2,262.8	12.4	0.54	改F型 2,240kg
10	217	2,260.0	12.7	0.56	" "

27年8月、9月にF型より改F型に転換して目標重量の異なる鋼塊を製造しているが定盤間の重量の変動は11~13kg程度である。尙定盤間の変動には第1,2,3定盤の変動即ちCharge内とCharge間に分れるがCharge内では2定盤の変動が他の第1,3定盤より重量の変動が少いことが調査の結果判明している。これは第2定盤が最も注入条件が安定する現場知識からうなずける点である。

6. 定盤内の重量の変動

27年9月の改F型2,240kgの調査結果を解析すれば定盤内の変動は $s=13.0$ kgと推定された。これは数Chargeの集計からの推定であるので確実な数字ではない。

7. 全体の単重の変動

27年9月の定盤間の変動はTable. 12より12.4kgであり定盤内変動の推定は13.0kgであるので、その全変動 S_T は

$$(S_T)^2 = \underbrace{(12.4)^2}_{\text{定盤間}} + \underbrace{(13.0)^2}_{\text{定盤内}} = (18.0)^2 \dots\dots(1)$$

しかるに鑄型容量による重量の変動は $s=11.0$ kgと考えられる。勿論定盤間にも鑄型容量による単重の変動は考えられるが通常の造塊作業から考えてrandomに鑄型が配置されると思われるので鑄型容量による単重の変動が定盤にふくまれるとすれば(1)式は次のようになる。

$$(S_T)^2 = \underbrace{(12.4)^2}_{\text{定盤内}} + \underbrace{(11.0)^2}_{\text{鑄型}} + \underbrace{(6.71)^2}_{\text{その他}} \dots\dots(2)$$

(2)式よりみれば定盤間と鑄型容量による変動とはほぼ同程度である。従つて主として鑄込長さによる定盤間の変動を抑えるのが第1歩で鑄型受入れ検査を厳格に行いその他(6.71)²に当る定盤内の湯上りの不同、後押効果その他注入条件と考えられるものに対しては各工程の作業標準を守りそのばらつきを少なくすることである。

IV. 鋼塊重量の管理とその実績

1. 管理の方法

以上の解析が進むに従つて各種対策を実施した。

第1段……鑄込長さの管理

従来型立作業者に記入させていた鑄込指示線を注入責任者に定寸の器具を新に作成して記入させ責任を持たせた。又現場記録室に定盤平均単重を1点Plotの形式でChartを掲げ 2σ の限度線を入れ注意を喚起し管理した。

第2段……定盤の水平化

定盤の水平化は仲々現場作業として難かしいものであるが、従来の水準器は短いので定盤に水を張り水平を出した。

第3段……鑄型容量

F型より改F型に転換の際従来の ± 5 mmの寸法公差を ± 3 mmとしたがmakerの努力によりほぼ満足すべきものが得られるが、容量の点からはまだ理想には遠く、容量により大、中、小と層別することを考慮した。

併し乍ら実際には実行がむつかしく現在は行っていない。

第4段……作業教育

湯上り不同、水押効果等の要因は注入温度、時間等によるもので注入時間の規正、出鋼温度の調整、注入作業の再教育を行つた。

2. 管理の実績

1) 定盤間の変動

以上の管理が順次進むにつれてFig. 6に示すように定盤間(定盤平均単重)変動は減少している。

又平均値は初め重い目であつたが次第に目標値に近づいている。

2) 全体の變動

(2)式よりみて定盤間変動が減少すれば全体の變動が相当量減少することは明らかであるが、昭和28年1月24Charge 337本のingotの重量を測定した結果はFig. 7に示すように全体の變動が16.1kgとなつている。

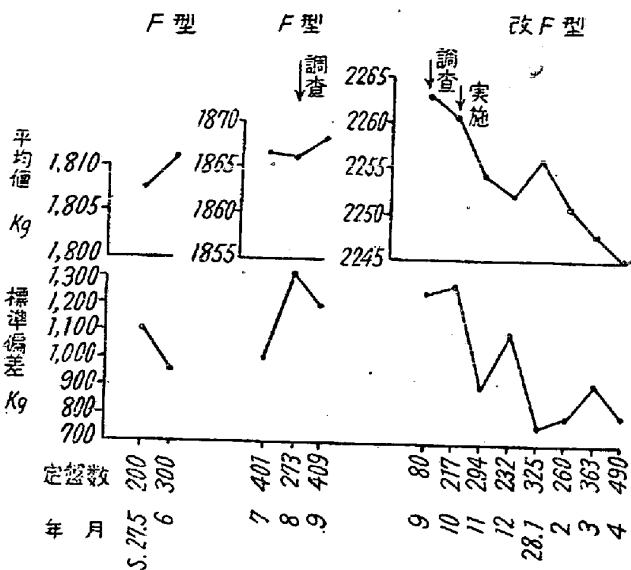


Fig. 6. 管理前後の定盤平均重量の實績

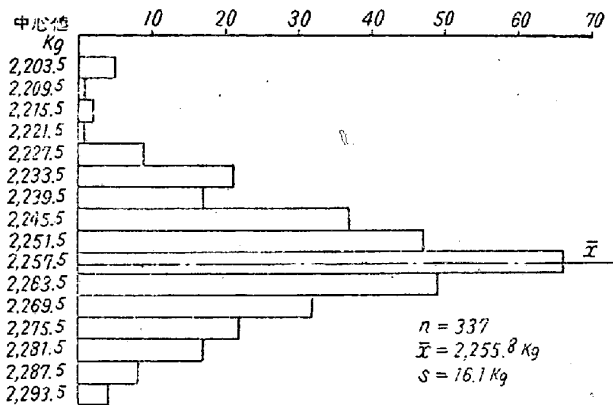


Fig. 7 鋼塊重量度数分布圖 (鋼塊 1 本毎)

1月の定盤間の変動は 8.52kg で本実験の定盤間変動もこれに近い。

この実験から求められる定盤内変動は 13.7kg となっている。昭和 27 年 9 月の F 型の実験と比較すれば鋼塊本体長さの変動が $s = 11.2\text{mm}$ より 9.5mm と減少し単重の変動は、 $s = 18.7\text{kg}$ から 16.1kg となっていることにより鑄込長さ及び造塊条件の管理によつて定盤間変動が減じたことが判る。

3. 管理によつて得られる利益

管材になる水張り鋼塊の billet に於ける top 切捨率は鋼塊の内部 Cavity の状況により決定されるが圧延作

Table. 13

	$\sigma = 20\text{kg}$	$\sigma = 16\text{kg}$	$\sigma = 14\text{kg}$
+3 σ	2,300kg	2,276	2,264
0	2,240	2,228	2,222
-3 σ	2,180	2,180	2,180

業上規定寸法に切捨るのが望ましい。そしてその top 切捨率は製管上疵を発生する最小切捨量を決定して基準切捨量が決められる。従つて鋼塊単重の変動が少くなれば Table. 13 に示されるように鋼塊目標重量を下げる事ができる。

鋼塊の目標重量を下げて同重量の成品 billet 及び billet の品質を確保できることになり、鋼塊単重 $\sigma = 20\text{kg} \rightarrow 16\text{kg}$ と変動が減少した場合には圧延歩留は 0.5% 向上し且歩留の安定が期待され一方製鋼でも鋼塊単重の目標を下げるにより製造 ingot 本数が増加することになる。

V. 結 言

以上述べた如く、圧延歩留りの向上、安定及び成品 billet の品質保証のためには鋼塊重量の安定が先決であるとの見地から 27 年 8 月より重量変動に及ぼす要因を調査し、

1. 定盤間の変動に対しては鑄込長さの管理を行つた。
2. 定盤内の変動は主として鑄型容量の差によるため鑄型の寸法公差を従来の $\pm 5\text{mm}$ より $\pm 3\text{mm}$ と厳格な規格とした。
3. その他注入条件を抑えるため作業員の再教育、標準作業の厳守を行つた。

これらの管理が進むにつれ鋼塊単重の変動は従来の $\sigma =$ 約 20kg から $\sigma = 16\text{kg}$ と減少している。

このため鋼塊の目標重量を下げる事が出来てこれにより歩留は 0.5% 向上し且成品 billet の保証が得られた。

終りに当り実験の解析の御指導を賜つた神戸大学、坂元平八教授に厚く感謝の意を表する。

(昭和 29 年 1 月 寄稿)