

鋳物工場の技術指導報告

石原金盛・国吉和男
比嘉敏勝 長山純朗

はしがき

県内においては鋳物工場は8事業所があり、その全部が那覇市またはその近郊に存在する。これらのうち法人企業に属するのはわずか3社で残りの事業所は生業的な個人企業である。

復帰後はとくに県内工業技術の発展が望まれているが、鋳造工業はいわゆる素形材工業であり、機械金属工業の基礎を担っているものであるため、その技術振興は肝要である。

当場はモデル工場の技術指導を実施し、その結果をもって関係事業所の指導にあたる計画である。

1. 技術指導モデル工場の設定

(1) モデル工場の概要

モデル工場としては中小企業近代化促進法にもとづき「中小企業高度化事業」として設備の近代化が図られている工場を選定した。該工場の概要は次のとおりである。

設 立 : 昭和48年8月11日

生産能力 : 月産 100 t

従業員数 : 31名

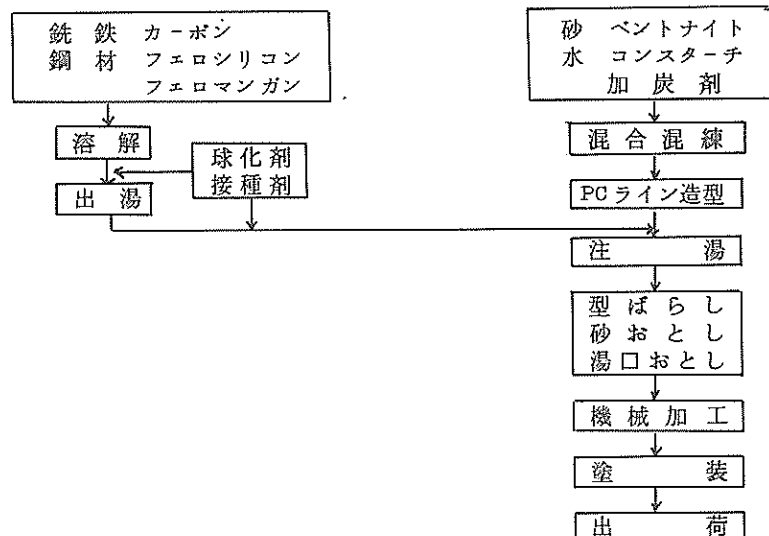
主要設備 : ① 低周波溶解炉(2 t) 1基 ④ 天井クレーン 2式
 ② 砂処理装置(PCライン) 1式 ⑤ キュウボラ 1基
 ③ 造 型 機 5台 ⑥ 仕上げ用工作機械 1式

主な製品は下水道用マンホーン鉄蓋で、注文に応じてねずみ鋳鉄またはダクタイル鋳鉄製品として製造している。

(2) モデル工場の現状と問題点

該工場における製造工程は図のとおりである。

図-1 製造工程略図



設立後間もない該工場は技術面で解決しなければならない多くの問題をかかえているが、これらは次に示すとおりである。

- ① 低周波炉をはじめ導入したため電気炉操業に経験が浅い。
- ② 測定機器がないため溶湯の成分調整や炉前試験ができず、結局材質は配合計算のみにたよっている。
- ③ ダクタイルの鑄造に経験が浅く球状化処理技術に不安がある。
- ④ 砂処理が手込めからライン化されたために合理的になった反面、砂の管理が不十分である。
- ⑤ 十分な工程管理が行われてなく、したがって作業標準・検査規格等が不備である。
- ⑥ これらの結果として製品の材質にバラツキがある。

2. 技術指導の目標

現状における球状黒鉛鑄鉄の材質のバラツキを調べて、そのバラツキをなくす対策を立てる。そのために、前述の工場における問題点のうち、溶湯管理に主眼をおいた。

3. 試験項目及び試験方法

現在の作業方法で溶湯の化学成分が製品の機械的性質にどのような影響をおよぼしているかを見るため、テストピースによって次の各項目について試験を行い、その結果を統計的手法によって処理した。

試験片のサンプリング条件は次のとおりである。

- ① 試料はダクタイル鑄鉄のみとする。
- ② 出湯温度は、1540℃付近とする。
- ③ 溶解毎に4コのYブロック試料(JISG5502)を採取する。
- ④ Yブロック試料から引張試験片としてJISZ 2201の4号試験片を作成する。
- ⑤ 引張試験済み後の同試験片のつかみ部より硬さ試験片および化学分析用試料を採取する。

また試験方法は次のとおりである。

(1) 物理試験

- ① 引張強さ : JIS Z 2241による
- ② 伸び率 : 全上
- ③ 硬さ : JIS Z 2243による(ブリネル硬さ)。

(2) 化学分析

- ① 炭素 : JIS G 1211に規定する電量測定を用いた。使用した装置は柳本製作所製ク-ロカウンタ-CC-22形である。
- ② Si, Mn およびMg

下記のように処理した試料調製溶液を島津原子吸光装置AA-610S形によって測定した。

鑄鉄試料 (ドリル切屑、0.5 g)

試料を100 ml ビーカーに取り7 N 硝酸、60 % 過塩素酸を加えホットプレート上で加熱乾固し蒸留水約40 ml を加えてしばらく加熱してポリロートでろ過し洗浄する。

沈澱 (SiO_2)

ロ液 (Mn, Mg)

沸湯 (0.2N KOH 2.5 ml + 約40 ml) をロートにそそぎ SiO_2 ゲルを溶解し約200 ml にうすめ250 ml メスフラスコに移し、更に、Ni, Cr, Mo, Fe による干渉防止のため AlCl_3 (25 mg Al/ml) 5 ml を加え $\text{Al}(\text{OH})_3$ の沈澱が解けてから測定する。

分析は
JIS G 1257
に準拠した。

4. 試験結果とその考察

(1) 測定結果とそのヒストグラム

表1-① 引張強さ (kg/mm^2)

組 の No	初 定 値				平均値 \bar{x}	総 回 n
	X_1	X_2	X_3	X_4		
1	4.1	5.9	5.4	5.9	5.3	18
2	5.6	5.5	7.1	7.9	6.5	24
3	5.4	5.9	5.8	5.7	5.7	5
4	5.7	5.5	5.4	5.5	5.5	3
5	5.1	5.1	5.2	5.3	5.2	2
6	5.2	4.9	5.0	5.0	5.0	3
7	5.3	5.7	5.6	4.3	5.2	14
8	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3	1
9	6.9	5.9	6.6	6.2	6.4	10
10	6.1	6.1	6.0	5.8	6.0	3
11	7.6	7.9	7.7	7.8	7.8	3
12	7.5	7.5	7.0	7.6	7.4	6
13	5.7	5.8	5.7	5.7	5.7	1
14	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6	1
15	5.6	5.4	5.4	5.6	5.5	2
16	5.6	5.5	5.3	5.8	5.6	5
17	5.6	5.5	5.5	5.4	5.5	2
18	5.4	5.2	5.6	5.4	5.4	4
19	5.5	5.7	5.1	6.4	5.7	13
20	7.1	8.1	7.5	6.9	7.4	12
21	5.5	5.6	5.9	6.3	5.8	8
22	5.7	5.6	5.6	5.5	5.6	2
23	5.5	5.4	5.7	5.5	5.5	3
24	5.7	5.6	5.9	5.8	5.8	3
25	5.4	6.1	5.8	5.8	5.8	7
					$\bar{\bar{x}} = 5.8$	$\bar{R} = 6$

表 1-② 伸び (系)

組 の No	測 定 値				平均値 \bar{x}	範 圍 R
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄		
1	4	7	6	6	6	2
2	12	15	5	3	9	12
3	3	4	3	9	5	6
4	8	8	7	8	8	1
5	14	14	8	9	12	6
6	12	8	8	8	9	4
7	△1	△1	2	1	1	1
8	16	15	14	14	15	2
9	5	10	3	3	5	7
10	4	3	3	△2	3	2
11	5	△	5	5	5	1
12	4	△	4	4	4	1
13	10	10	11	9	10	2
14	12	12	14	△10	12	4
15	9	10	10	11	10	2
16	11	12	11	△10	11	2
17	10	10	11	9	10	2
18	10	13	8	14	12	6
19	1	△	△	6	2	6
20	3	4	△	4	4	1
21	11	12	9	10	11	3
22	7	7	9	10	8	3
23	10	△	10	10	9	4
24	12	12	8	8	10	4
25	10	9	6	6	8	4
					$\bar{x}=8$	$R=4$

表 1-③ 硬さ (Hb 10 / 3000)

組 の No	測 定 値				平均値 \bar{x}	範 圍 R
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄		
1	173	201	206	211	193	38
2	192	191	241	297	230	106
3	241	242	254	193	233	61
4	186	186	175	192	185	17
5	178	179	175	180	178	5
6	179	176	127	183	166	56
7	242	245	252	248	247	10
8	178	173	181	180	178	8
9	237	204	244	262	237	58
10	224	224	229	236	228	12
11	275	262	267	274	270	13
12	252	248	275	267	261	27
13	195	195	199	195	196	4
14	195	194	189	195	193	6
15	198	194	190	196	195	8
16	192	189	193	202	194	13
17	198	199	193	194	196	6
18	186	180	192	186	186	12
19	256	291	307	241	274	66
20	266	293	256	250	266	43
21	194	201	204	202	200	10
22	201	195	194	194	196	7
23	191	194	193	193	193	3
24	198	198	212	210	205	14
25	210	215	211	211	212	5
				$\bar{x}=212$	$R=24$	

※△ 標点外切断

表1-④ C (株)

組 の No	測 定 値			平均値 \bar{x}	範 圍 R
	x_1	x_2	x_3		
1	3.2	3.1	3.2	3.2	0.1
2	3.3	3.3	3.2	3.2	0.3
3	3.1	3.5	3.2	3.2	0.7
4	3.1	3.2	3.1	3.1	0.1
5	2.9	3.2	3.1	3.0	0.3
6	2.6	3.2	3.6	3.2	0.8
7	3.3	3.1	3.0	3.2	0.3
8	3.1	2.9	2.9	3.0	0.2
9	3.3	3.1	3.6	3.5	0.7
10	3.0	3.1	2.9	3.0	0.2
11	3.1	2.9	2.9	3.0	0.2
12	2.9	3.5	2.8	3.1	0.7
13	3.5	3.1	3.0	3.2	0.5
14	3.3	3.2	3.4	3.5	0.8
15	3.3	3.3	3.2	3.2	0.2
16	3.4	3.3	3.4	3.4	0.3
17	3.0	3.1	3.1	3.2	0.3
18	3.0	3.8	3.0	3.4	0.8
19	3.1	3.3	3.3	3.3	0.5
20	3.2	2.9	3.1	3.1	0.3
21	3.0	3.0	3.2	3.1	0.2
22	3.2	3.2	3.5	3.3	0.3
23	3.6	3.7	3.3	3.6	0.4
24	3.0	3.0	2.9	3.0	0.1
25	3.1	2.7	2.9	3.0	0.4
			$\bar{x}=3.2$		$R=0.4$

表1-⑤ SI (株)

組 の No	測 定 値				平均値 \bar{x}	範 圍 R
	x_1	x_2	x_3	x_4		
1	2.27	2.15	2.01	2.05	2.12	0.26
2	2.37	2.68	2.34	2.62	2.50	0.34
3	2.09	1.85	2.05	1.71	1.93	0.38
4	2.21	2.06	2.16	2.32	2.19	0.26
5	2.65	2.79	2.56	2.62	2.66	0.23
6	2.34	3.29	2.65	2.55	2.71	0.95
7	2.73	2.65	2.67	1.68	2.43	1.05
8	2.90	2.87	2.96	2.97	2.93	0.10
9	2.27	2.43	1.45	2.06	2.05	0.98
10	0.94	2.49	2.32	2.59	2.09	1.65
11	2.43	2.21	1.31	1.45	1.85	1.12
12	1.90	2.51	2.66	2.49	2.39	0.76
13	2.08	2.23	2.48	2.54	2.33	0.46
14	2.87	2.53	2.79	2.19	2.60	0.68
15	2.58	2.50	1.06	2.65	2.20	1.59
16	2.63	2.71	2.73	2.47	2.64	0.26
17	1.82	-	1.99	2.57	2.13	0.75
18	2.62	2.86	2.62	2.68	2.70	0.24
19	3.04	2.93	3.56	2.68	3.05	0.88
20	1.68	2.51	2.43	2.55	2.29	0.87
21	2.70	2.68	2.65	2.64	2.67	0.06
22	2.61	1.81	2.48	2.54	2.36	0.80
23	2.61	2.78	2.73	2.77	2.72	0.17
24	2.59	2.11	0.67	2.50	1.97	1.92
25	2.62	2.53	2.50	2.49	2.54	0.13
				$\bar{x}=2.40$		$R=0.67$

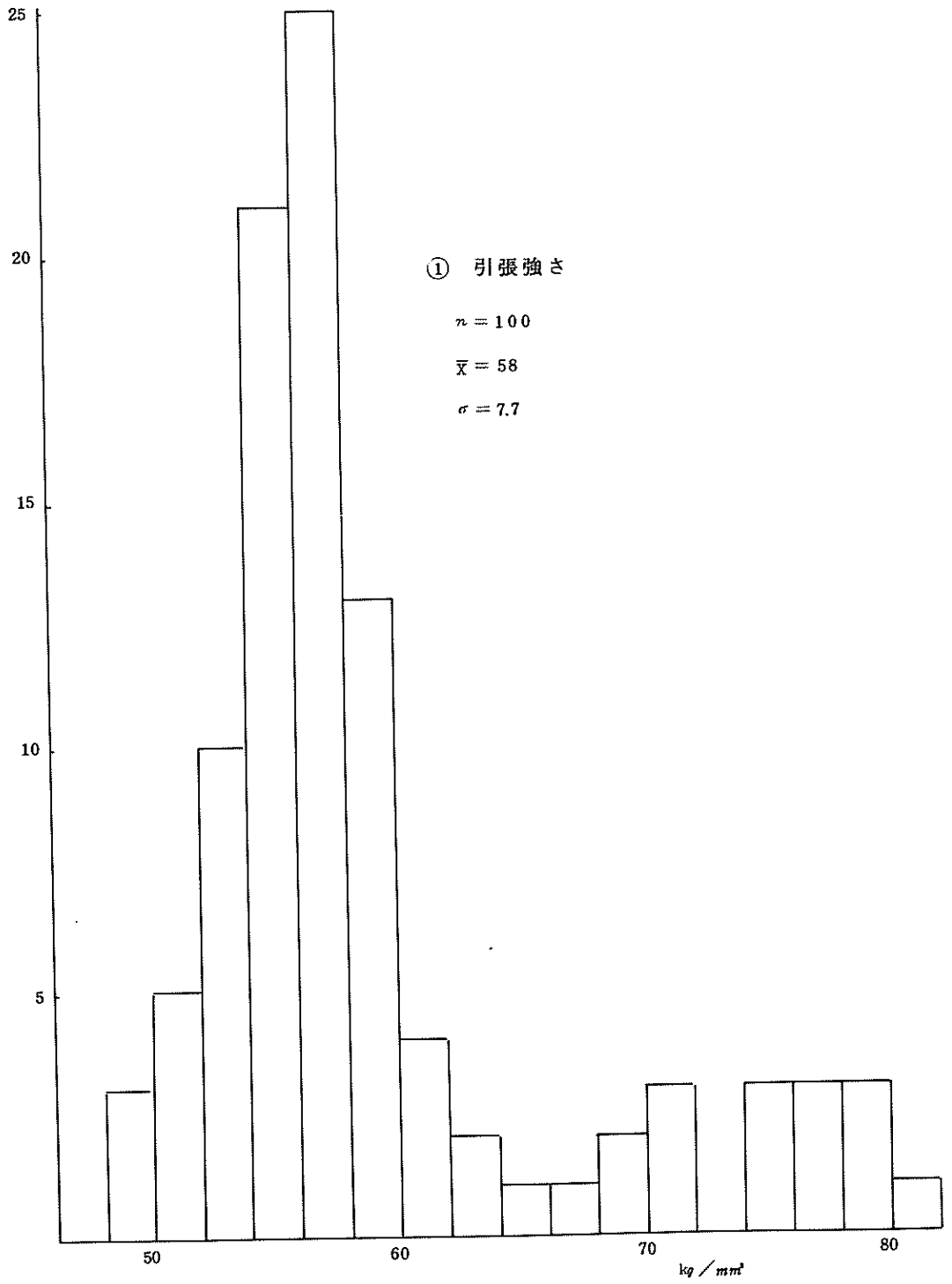
表1-⑥ Mn ($\times 10^{-2}$ %)

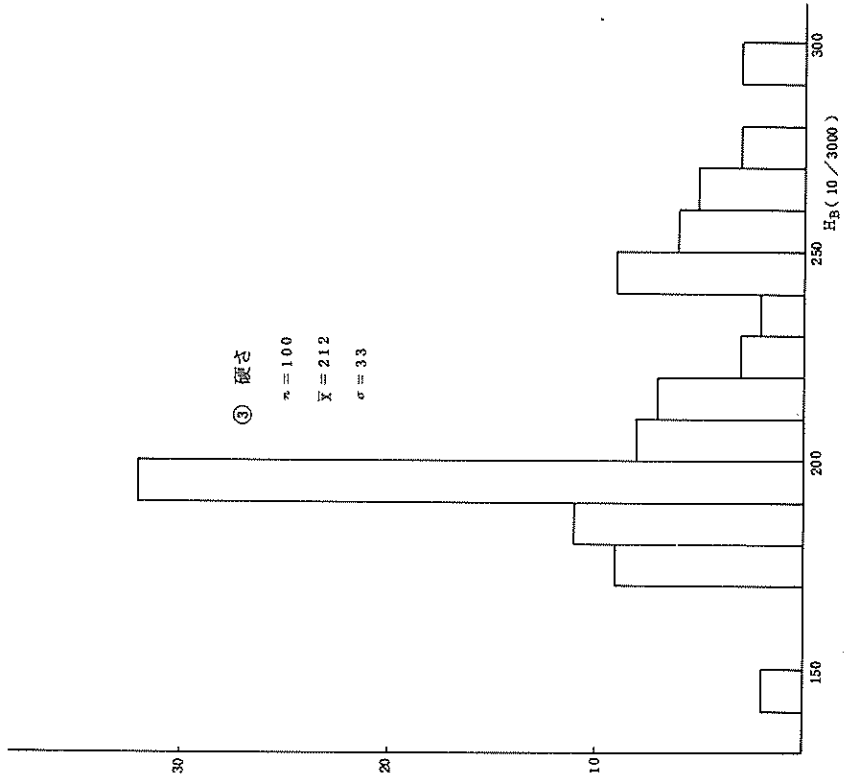
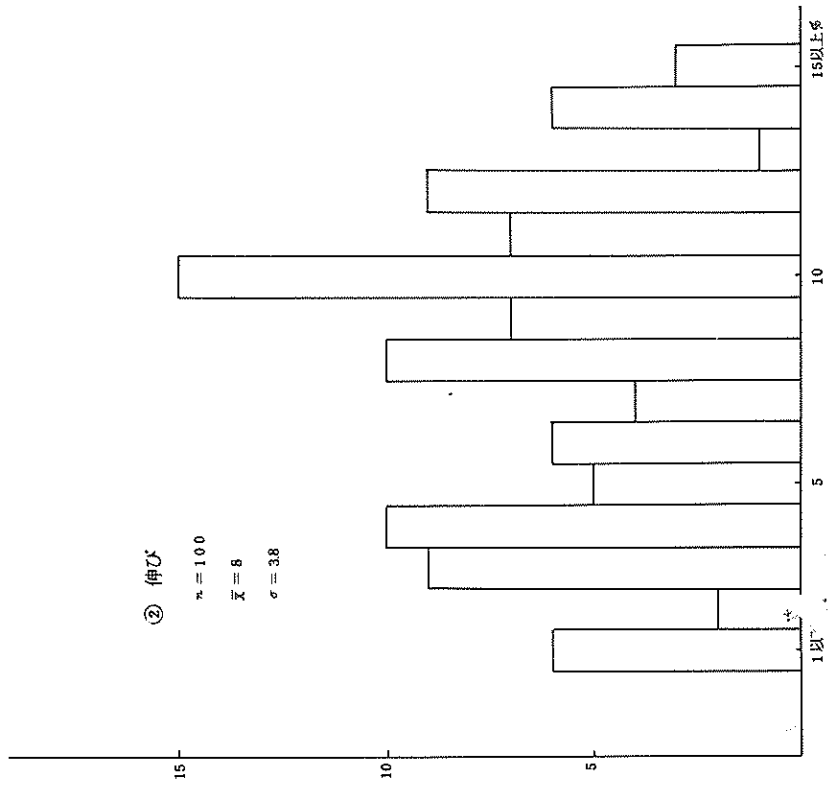
組 の No	測 定 値				平均値 \bar{X}	範 圍 R
	X_1	X_2	X_3	X_4		
1	5.1	5.2	5.1	5.4	5.2	3
2	6.4	5.5	5.9	4.2	5.5	2.2
3	5.8	5.7	5.8	5.1	5.6	7
4	5.0	4.9	5.2	4.9	5.0	3
5	4.9	5.0	5.0	4.9	5.0	1
6	4.0	4.0	4.1	4.3	4.1	3
7	5.2	5.1	5.0	5.1	5.1	2
8	4.0	3.7	3.7	3.6	3.8	4
9	3.7	3.6	3.8	4.0	3.8	4
10	4.8	4.7	4.5	4.8	4.7	3
11	5.5	5.4	5.3	5.3	5.4	2
12	4.6	4.6	4.5	4.5	4.6	1
13	4.3	4.1	4.2	4.1	4.2	2
14	3.7	4.6	4.6	4.5	4.4	8
15	4.5	4.4	4.1	4.4	4.4	4
16	4.4	4.7	4.4	4.6	4.5	3
17	4.2	-	4.2	4.6	4.3	4
18	4.7	4.7	4.7	4.6	4.7	1
19	4.6	4.4	4.7	4.6	4.6	3
20	4.3	4.5	4.7	4.5	4.5	4
21	5.9	5.8	5.7	5.9	5.8	2
22	6.0	6.1	5.9	5.9	4.6	2
23	5.8	5.8	6.0	5.8	5.9	2
24	5.9	5.8	5.7	5.9	4.4	2
25	6.6	6.3	6.3	6.3	6.4	3
					$\bar{X}=4.8$	R=4

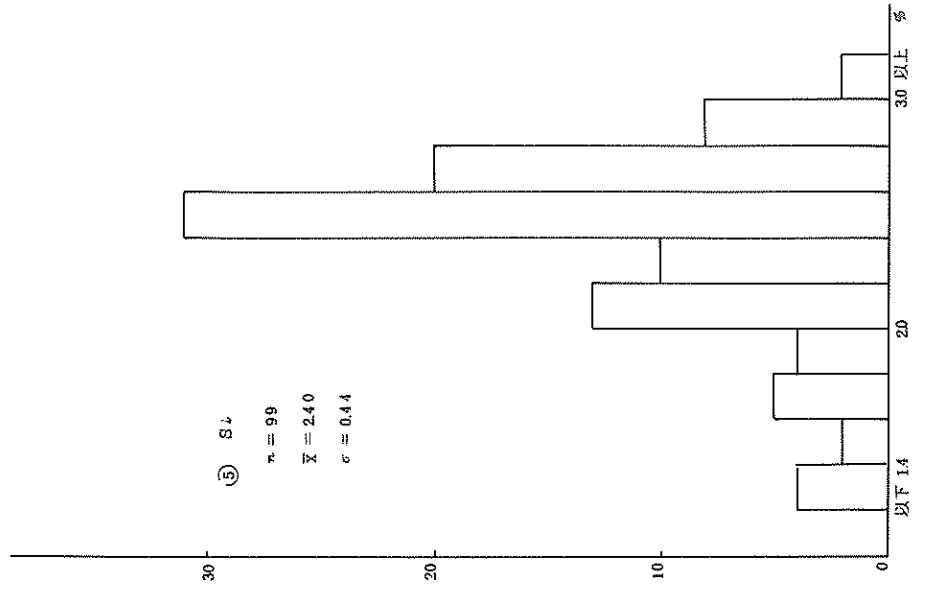
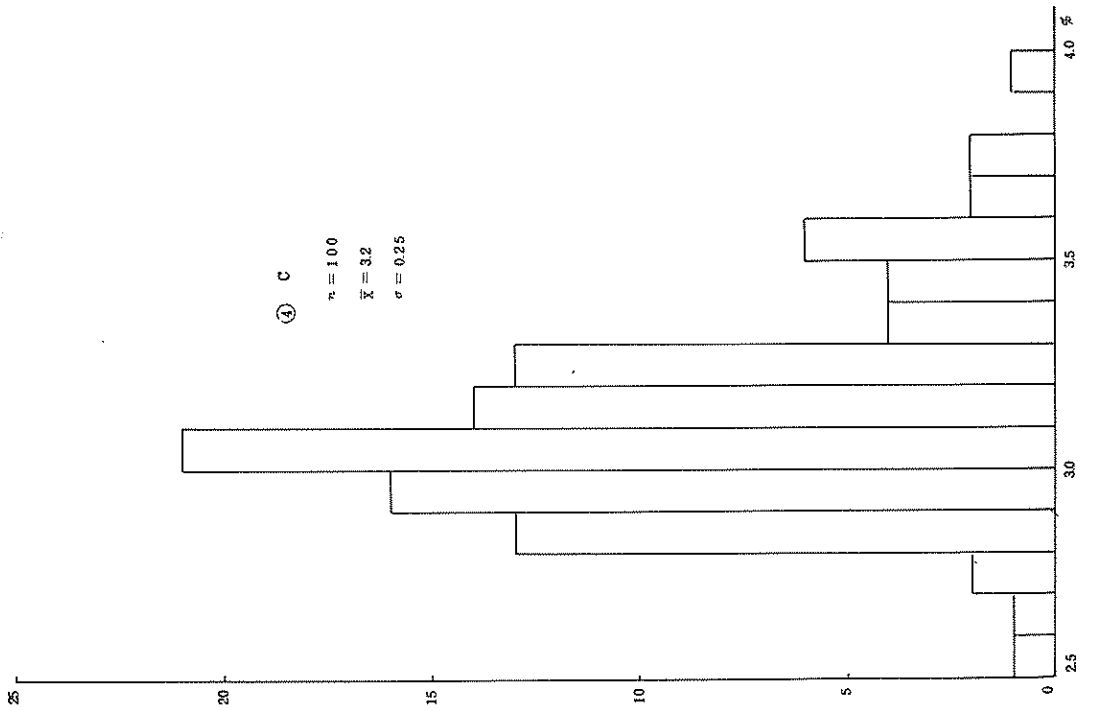
表1-⑦ Mg ($\times 10^{-5}$ %)

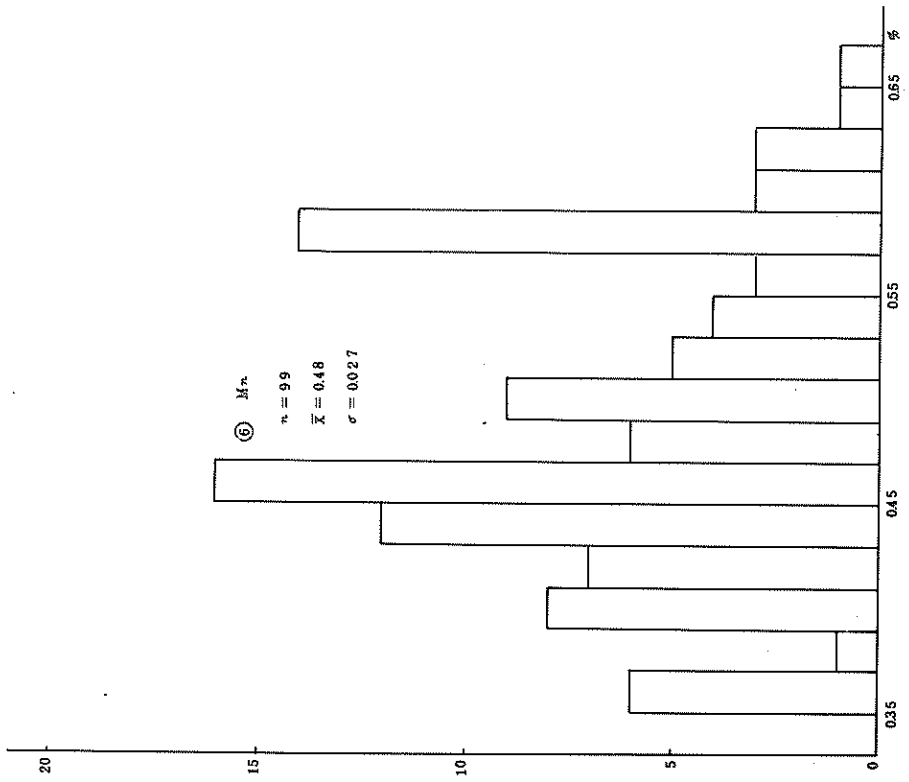
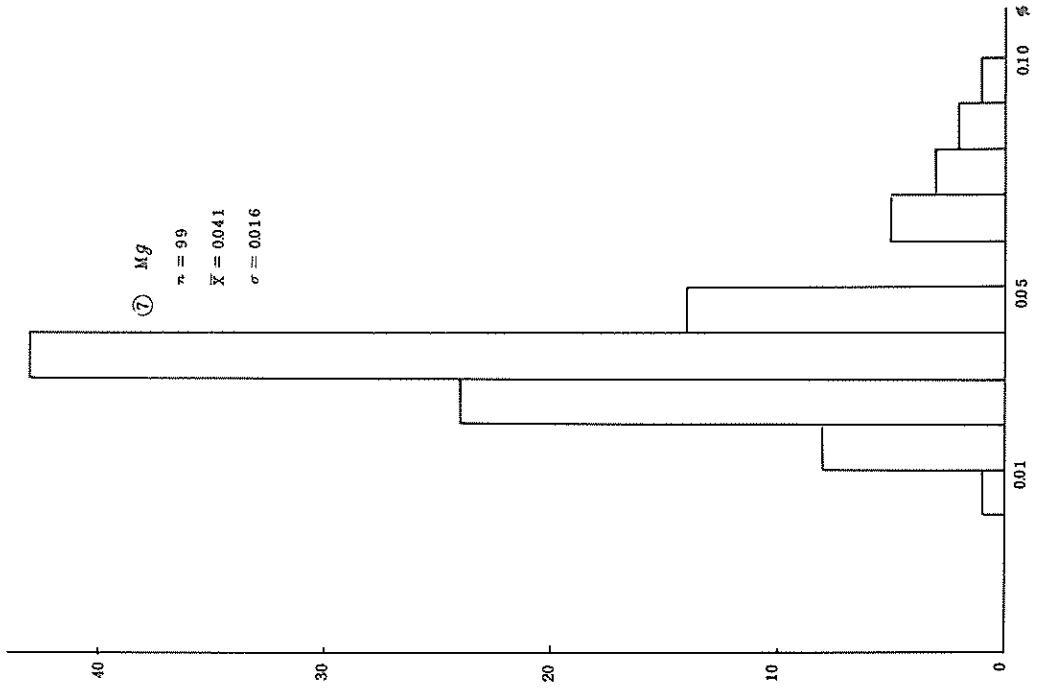
組 の No	測 定 値				平均値 \bar{X}	範 圍 R
	X_1	X_2	X_3	X_4		
1	1.6	2.2	2.3	2.6	2.2	1.0
2	2.3	2.4	2.4	4.7	3.0	2.4
3	2.5	3.0	3.9	4.2	3.4	1.7
4	4.1	3.9	4.2	4.3	4.1	4
5	4.4	4.9	3.5	5.7	4.1	1.2
6	2.7	2.7	2.6	2.4	2.6	3
7	5.6	3.4	3.6	3.5	3.5	2
8	3.7	4.1	4.1	3.3	3.8	6
9	7.3	1.0	8.8	7.8	8.5	2.7
10	7.0	7.8	8.8	3.6	6.8	5.2
11	7.0	8.3	6.8	6.6	7.2	1.7
12	3.6	3.9	3.8	4.0	3.8	4
13	3.4	-	3.4	3.5	2.6	1
14	4.8	4.6	4.7	4.4	4.6	4
15	4.9	5.3	4.7	4.9	5.0	6
16	4.5	4.3	5.3	4.8	4.7	1.0
17	4.4	-	4.6	4.5	4.5	2
18	4.0	3.9	3.6	3.3	3.7	7
19	3.6	3.3	3.9	2.6	3.4	4
20	3.0	2.5	2.5	1.9	2.5	1.1
21	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	0
22	2.9	2.8	3.3	3.4	3.1	1.6
23	3.0	3.7	3.7	3.0	3.4	7
24	3.2	3.7	3.6	3.7	3.6	5
25	3.6	3.6	3.3	1.4	3.0	2.2
					$\bar{X}=4.1$	R=11

図-2 測定値のヒストグラム









ここでサンプル数を25組×4すなわち100としたのは、この測定値を工場側の \bar{x} -R管理図の基礎資料とすることと、溶解毎の歩留りを調べるためである。

各測定値のヒストグラムからいえることは次のとおりである。

① 引張強さ

平均値58kg/mm²で目標のJIS・FC60から大きくずれている。目標値どおりの製品強度が出ていないのは、炉前試験等の測定機がなく、溶湯管理が不十分である現状においては当然の結果といえることができる。

② 伸び

JIS規格ではダクタイル鑄鉄の伸び率を2%以上と規定している。測定値では規格以下が6%もあるが平均値は8%である。伸び率が高目に出ているのはフェライト基地による影響が大と思われるが、ここでは組織については検討していない。

③ 硬さ

硬さのJIS参考値は207~285HBとされているが測定値の \bar{x} は212HBで規格内である。しかし、引張強さや伸びと同様測定値の標準偏差が大きい。

④ C

目標値3.7%に対して平均値3.2%である。ダクタイル鑄鉄のC量は3.2~3.4%以上とされており、この値は下限値である。C量のバラツキの主な原因はひとつには配合計算のみによつて成分調整がなされず、戻り材やSB材の成分把握が不確実であること、いまひとつは溶解中の保時時間が一定でないうえ原材料からのCについてはその変動を考慮していないことの2点があげられる。

⑤ Si

製品目標値2.5%に対して測定値の平均値2.4%である。標準偏差は比較的大きいがヒストグラムのモードと平均値とが一致している。

⑥ Mn

ダクタイル鑄鉄においてはふつう0.4~0.7%の範囲であり測定値の \bar{x} は0.48%である。Mnは歩留り100%に近いとされているがここでは目標値0.6%に対して歩留り80%であるのは添加剤フェロマンガンのMn含量を考慮していないことが主な原因と思われる。

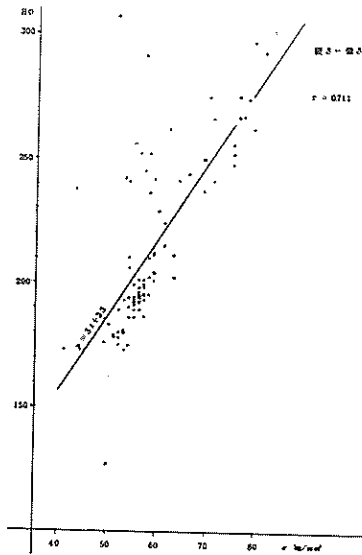
⑦ Mg

Mgについては引続き検討する予定の黒鉛球状化处理技術に必要な資料として測定を行った。黒鉛球状化率と残留Mgとの関係やこれらが製品の材質におよぼす影響は大きいことが知られているが、モデル工場の場合についても顕微鏡組織との関係で今後検討していく予定である。

なお、ここでは5元素のうちPとSについては検討していないが低周波炉操業で、かつ、原材料中の含有量が低いので、大きな影響はないものとみなした。しかし更に細かい検討を行うためにはこれら2元素の影響を無視することはできない。

(2) 測定因子間の相互関係

図-3 引張強さと硬さ



① 機械的性質の相互関係

引張強さ-硬さおよび引張強さ-伸びについては1%の危険率で有意とのきわめて高い相関性がみられた。

今後これらの関係は相互の値の推定に利用することができる。

図-4 引張強さと伸び

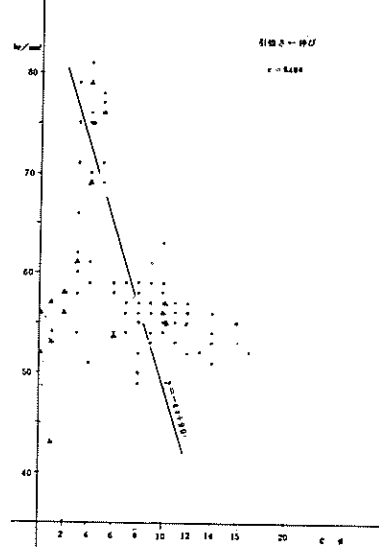
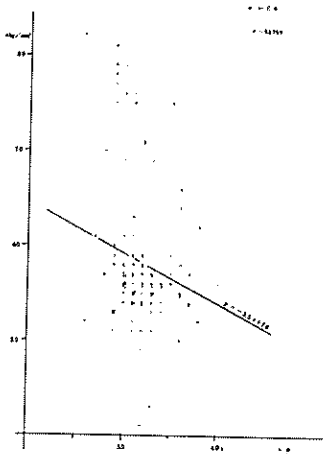


図-5 引張強さと σ



② 化学成分と機械的性質の関係

ダクタイル鋳鉄については σ 量の増加は機械的性質の低下につながるかとされている。ここでも引張強さと σ 量との間に危険率10%で有意との相関関係がみられ、同様な傾向を示した。

しかし伸びや硬さについては相関関係はみられなかった。このように σ 量と機械的性質との間にはつきりした相関関係がみられないのは、 σ の \bar{x} 3.2%では安定した球状黒鉛が得られないためと思われる。

この理由から引張強さと σ との回帰線を直ち

図-6 引張強さと Si

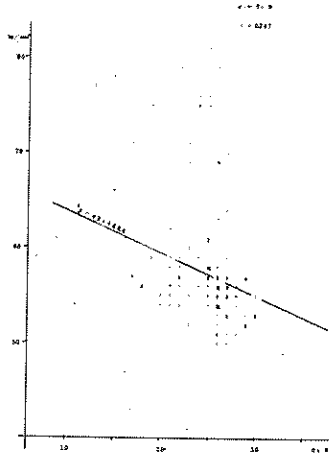


図-7 引張強さと Mg

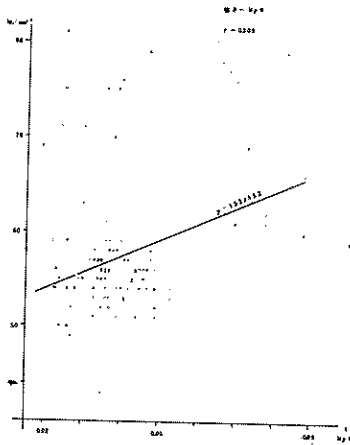
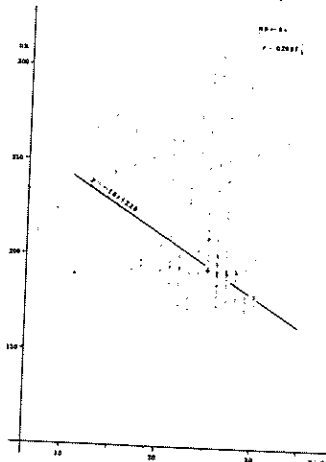


図-8 硬さと Si



に利用することには無理がある。

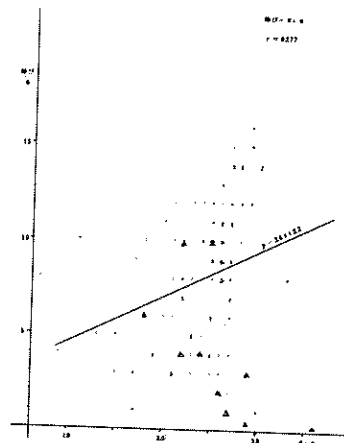
Siについては機械的性質におよぼす影響は大きいとされ、球状黒鉛鑄鉄の重要な元素とされている。図においても3つの機械的性質との関係は、引張強さに対しては2%、硬さに対しては5%、伸びに対しては1%の危険率で高度の相関性がみられた。

機械的性質の目標値からSi含量を求めると2.0%前後が適性値となる。

Mnについては、引張強さと硬さを増し、伸びを減じる傾向にあるといわれているが、ここでは比較的安定した歩留りを示しながらも相関性がみられなかった。

Mgについては黒鉛を球状化せしめるための残留値の下限は、0.04%付近とされている。図においては、引張強さとの間に1%の危険率で相関関係がみられた。しかし、0との関係でものべたように、Mg含量の0.04%ではダクタイル鑄鉄の安定した組織が得られていないおそれがあるため、顕微鏡組織を合わせて考慮しないとこの回帰線を直ちに利用することはできない。

図-9 伸びと Si



(3) 3元素の歩留り

表2 歩留計算表

組の番号	鉄鉄	銅クズ	戻材	スタート プログラク	C			Si			Mn		
					計算値	分析値	歩留	計算値	分析値	歩留	計算値	分析値	歩留
1	876 kg	584 kg	0 kg	640 kg	79.03 kg	67.2 kg	85%	49.004 kg	44.52 kg	91%	14.96 kg	10.92 kg	73%
2	1045	455	0	600	80.16	67.2	84	50.730	52.50	103	14.10	11.55	82
3	1092	468	0	640	83.02	70.4	85	56.120	42.46	76	13.18	12.32	93
4	1095	455	0	550	81.20	65.1	80	51.770	45.99	89	13.17	10.50	80
5	570	210	820	500	78.67	63.0	80	53.700	55.86	104	12.56	10.50	84
6	1025	455	0	620	79.71	67.2	84	53.420	56.91	107	12.46	8.61	69
7	510	245	745	600	73.94	67.2	91	63.805	51.03	80	10.42	10.71	05
8	0	0	1200	900	78.50	63.0	80	62.106	61.53	99	13.60	7.98	59
9	1045	455	0	600	79.85	73.5	92	53.320	43.05	81	10.80	7.98	74
10	1045	455	0	600	79.55	63.0	79	53.820	43.89	82	10.80	9.87	91
11	0	0	1550	550	79.60	63.0	80	63.350	38.85	61	12.05	11.34	94
12	1095	455	0	550	80.80	65.1	81	64.770	50.19	92	12.67	9.66	76
13	1145	455	0	500	79.05	67.2	85	54.320	48.93	90	12.27	8.82	72
15	1125	455	0	520	79.45	67.2	85	53.840	46.20	86	12.50	9.24	74
16	1025	455	0	620	79.71	71.4	90	53.300	55.44	104	12.49	9.45	76
17	790	350	400	560	79.05	67.2	85	52.840	44.73	85	12.43	9.03	73
18	710	420	300	670	79.63	71.4	90	55.510	56.70	102	12.57	9.87	79
19	710	420	300	670	79.63	63.3	87	53.145	64.10	121	12.37	9.66	78
22	1080	450	0	570	79.70	69.3	87	53.830	49.56	92	12.24	9.66	79
23	850	350	300	600	79.35	75.6	95	53.200	57.12	107	12.16	12.39	102
					平均 86%			平均 93%			平均 80%		

工場における配合計算記録の不明な試料を除いてC・Si・Mnの3元素について歩留りを計算したのが表-2である。

Siは計算値に対して93%と高い歩留りを示している。ただしここでは添加剤等のSi含量が不明なものもあつたので次のようにして計算した。すなわち、フェロシリコンSi100%、球化剤Si50%、接種剤Si50%として計算した。MnについてもフェロマンガンのMnを100%として計算した。これらの含有量不明な添加剤等については化学分析を行い、この歩留り表を修正しなければならない。

(4) 配合計算の検討

機械的性質におよぼす化学成分の影響について検討するため重回帰分析を行い、得られた回帰式について、統計的に検定を行ったところ、CおよびMnについては機械的性質に及ぼす影響はみられず、Siとの相関性のみがみられた。したがって、3つの機械的性質と3元素との関係は単回帰および重回帰とも全く同一の式となつた。

したがって、CおよびMnについては歩留りを考慮して分析値と目標値とが一致するように配合する必要がある。Siについては最終値と2.0%前後となるように歩留りを考慮して目標値を設定する必要がある。

あ と が き

この報告は継続して行なわれる技術指導の中間的な報告であり、検討不足の点が多いため、当初の目的を充分達成するまでには至っていない。しかし、モデル工場において、作業標準や検査規格の作成をはじめ、品質管理体制の強化など、技術に対する認識の高揚がみられたのは、今後の県内鋳物工業にとって喜ばしいことである。

当場は引続き技術指導を実施して斯界の発展を図りたい。

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。