

白鉄の予備加熱効果の研究

— 化学成分との関係について —

A Study on the Effect of Preheating on White Cast Iron

— Relations of the Effect of Preheating and the Chemical Composition of White Cast Iron —

藤井恒弥*

内容梗概

黒心可鍛鑄鉄の現場焼鈍において、従来からわれわれは白鉄の化学成分によつて、その白鉄の黒鉛化の難易を予想し焼鈍を行つてきたが、往々にしてこれら化学成分に無関係な黒鉛化速度を示す白鉄に遭遇することがある。この原因について、未分析の化学組成にその因をきする場合もあるが、著者はマレブル焼鈍時の 500~550°C の予備加熱効果の研究において、種々の熔解ヒートの白鉄が一定サイクルの予備加熱処理に対して、一定の黒鉛核増加効果を示さず、その効果に大小があり、この効果の差異がある場合には、その化学組成の黒鉛化速度への影響以上にその白鉄の黒鉛化速度に影響を持つことを確認した。

こゝにおいて、本研究により、白鉄の示す予備加熱効果の大小がその化学組成と無関係なものであることをあきらかにし、現場焼鈍作業において、黒鉛化速度の判定を従来から用いてきたその白鉄の化学分析値に、短時間の試験焼鈍によつて判定しうる予備加熱効果の程度を加味することによつて、より確実なものにすることができた。

今回はこの予備加熱効果と、その白鉄の化学成分との関連について詳述した。

〔I〕 緒言

黒心可鍛鑄鉄用白鉄の黒鉛化焼鈍の昇温時に 500°C~550°C 附近で予備加熱処理を行うことにより、第一段および第二段黒鉛化速度がその黒鉛核増加効果によつて、いちじるしく促進されることはすでにあきらかにされ、近時工業的にも応用され、著者などもこの第一段および第二段黒鉛化速度におよぼす影響について報告⁽¹⁾を行つてきたが、工場現場で熔製される白鉄についてのさらに詳細なる本効果の検討において、同一条件の予備加熱処理に対して、白鉄によつてその黒鉛核増加効果に差異が見られ、これが黒鉛化焼鈍作業において、その白鉄の化学成分とともにかなり問題になる場合が考えられるに至つたので、ここにこれら白鉄の予備加熱効果の大小の黒鉛化速度の影響および、その効果の変動におよぼす化学成分の影響について調査研究を行つたものである。

〔II〕 白鉄の予備加熱効果の検討

予備実験について、熔解操業条件上、季節的にまた原材料面で変動の見られる一年間にわたる各月より任意にとつた黒鉛化速度のことなる一定寸法の試験片、および肉厚差にともない黒鉛化程度のことなる階段状試験片の各段よりとつた試験片について、420°C、460°C、500°C、540°C、580°C、620°C で一定時間予備加熱処理を行い、950°C×2時間における黒鉛化進行度を、そのブリネル硬度で判定した結果、予備加熱温度はこれら全試験片を通じて、540°C でもつとも効果の大きい傾向を示したが、効

果の程度、すなわち黒鉛核増加効果の程度にかなりの差異が見られた。この効果の大小は一見その白鉄の化学成分の示す黒鉛化の難易とかならずしも一致しないので、ここにこれらの差異を明確にし、その黒鉛化速度への影響をしらべるため、つぎのごとき実験を行つた。

(1) 予備加熱時間の影響

まず種々の白鉄試料について、その予備加熱時間によつてその効果がどの程度に促進されるかを検討した。

(a) 試験方法、試験片は現場の任意の熔解ヒートのものから1ヒートにつき4箇採取した。

試験片寸法、8×14×100(mm)

これらのうち3箇の試片をそれぞれ530°Cに5、9、15時間予備加熱し、予備加熱せざるほかの1箇とともに980°C

第1表 試料の化学成分および試験結果
Table 1. Chemical Composition of Specimens and Test Results

試料 番号	化 学 成 分 (%)					予備加熱 530°C (数値H _B)			
	C	Si	Mn	S	Cr	0 hr	5 hr	9 hr	15hr
1	2.51	1.02	0.31	0.094	0.03	262	229	197	174
2	2.62	0.96	0.32	0.098	0.03	277	201	163	159
3	2.34	1.10	0.27	0.092	0.03	207	197	170	163
4	2.44	1.11	0.34	0.092	0.03	201	201	179	163
5	2.61	1.07	0.32	0.104	0.03	229	223	207	167
6	2.64	1.06	0.34	0.108	0.04	277	262	248	235
7	2.56	0.91	0.32	0.101	0.04	285	255	217	187
8	2.66	0.92	0.33	0.097	0.04	293	277	255	248
9	2.63	1.02	0.32	0.097	0.05	223	207	183	179
10	2.57	1.03	0.32	0.096	0.03	302	201	174	167

* 日立金属工業株式会社深川工場

×3時間焼鈍し、そのときの黒鉛化進行度をブリネル硬度および顕微鏡組織でしらべた。試料の化学成分を第1表に示す。

(b) 試験結果 第1表に示す。

化学成分は正常のマレブル用白鉄成分のもので、予備加熱せざる状態で黒鉛化進行度に差異がなくとも、予備加熱時間とともにその差異が明確となり、これらヒート中 No. 6 No. 8 は他ヒートに比していちじるしく予備加熱効果が少く、これは顕微鏡組織の黒鉛核数の上でも明確な差を生じている。これらの比較を例によつて第1図に示す。

(2) 予備加熱効果差異の第一段および第二段黒鉛化速度への影響

上述のごとく、白鉄により予備加熱効果の大小の差異があるので、このような差異が第一段、第二段黒鉛化速度にどの程度の影響をもつかをしらべた。

(a) 試験方法

各試験片に第2表のごとき A, B, C 三通りの処理を行い、A, B の差により第一段を、A, C の差により第二段への影響を求めた。

(b) 試験結果

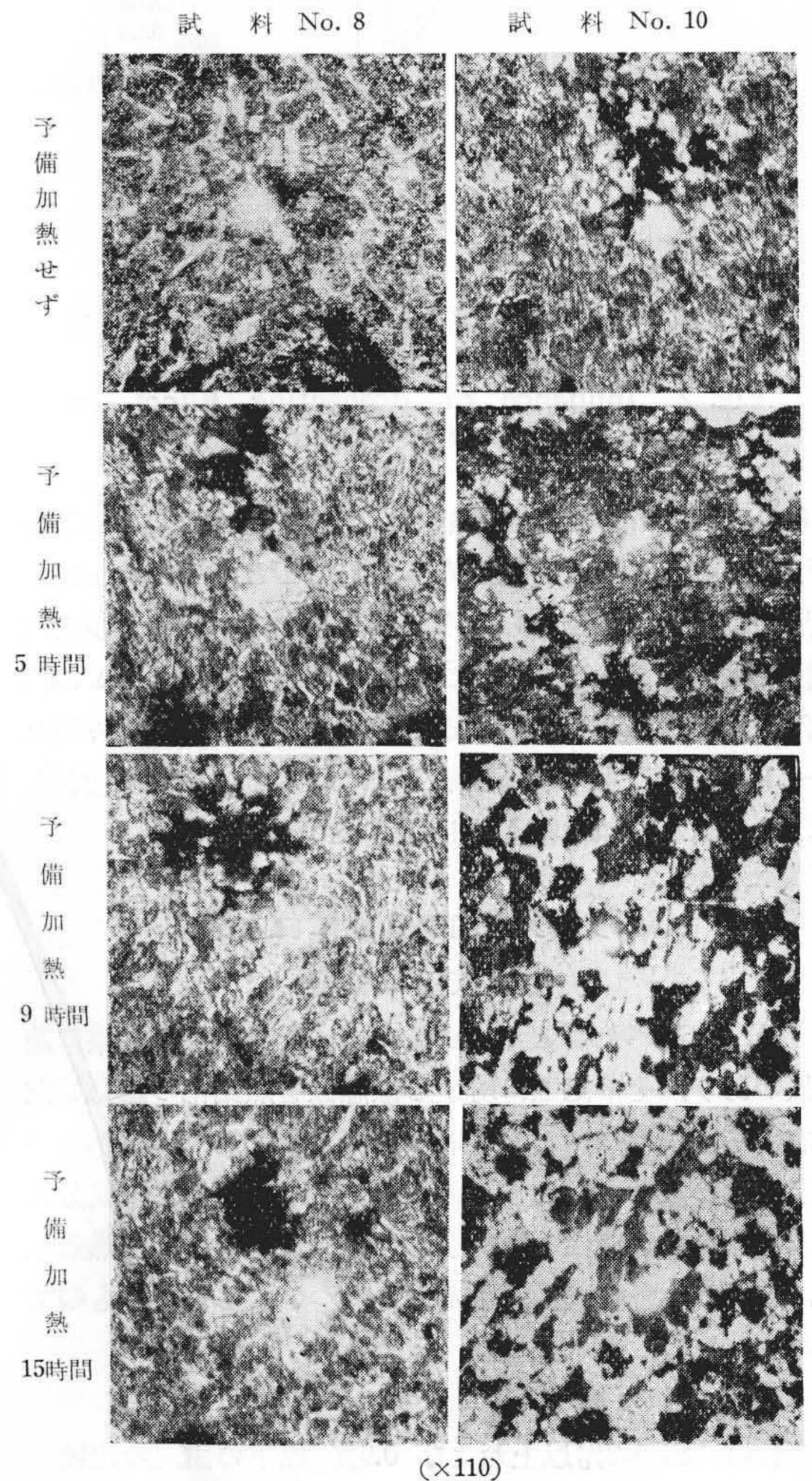
第 2 表 試 料 の 熱 処 理
Table 2. Heat Treatment of Specimens

熱処理類別	予備加熱処理	予備加熱後加熱速度(°C/hr)	焼 鈍
A	せ ず	500	950°C×5時間 炉冷
B	530°C×8時間	500	950°C×5時間 炉冷
C	530°C×8時間	500	950°C×15時間 炉冷 +680°C×5時間

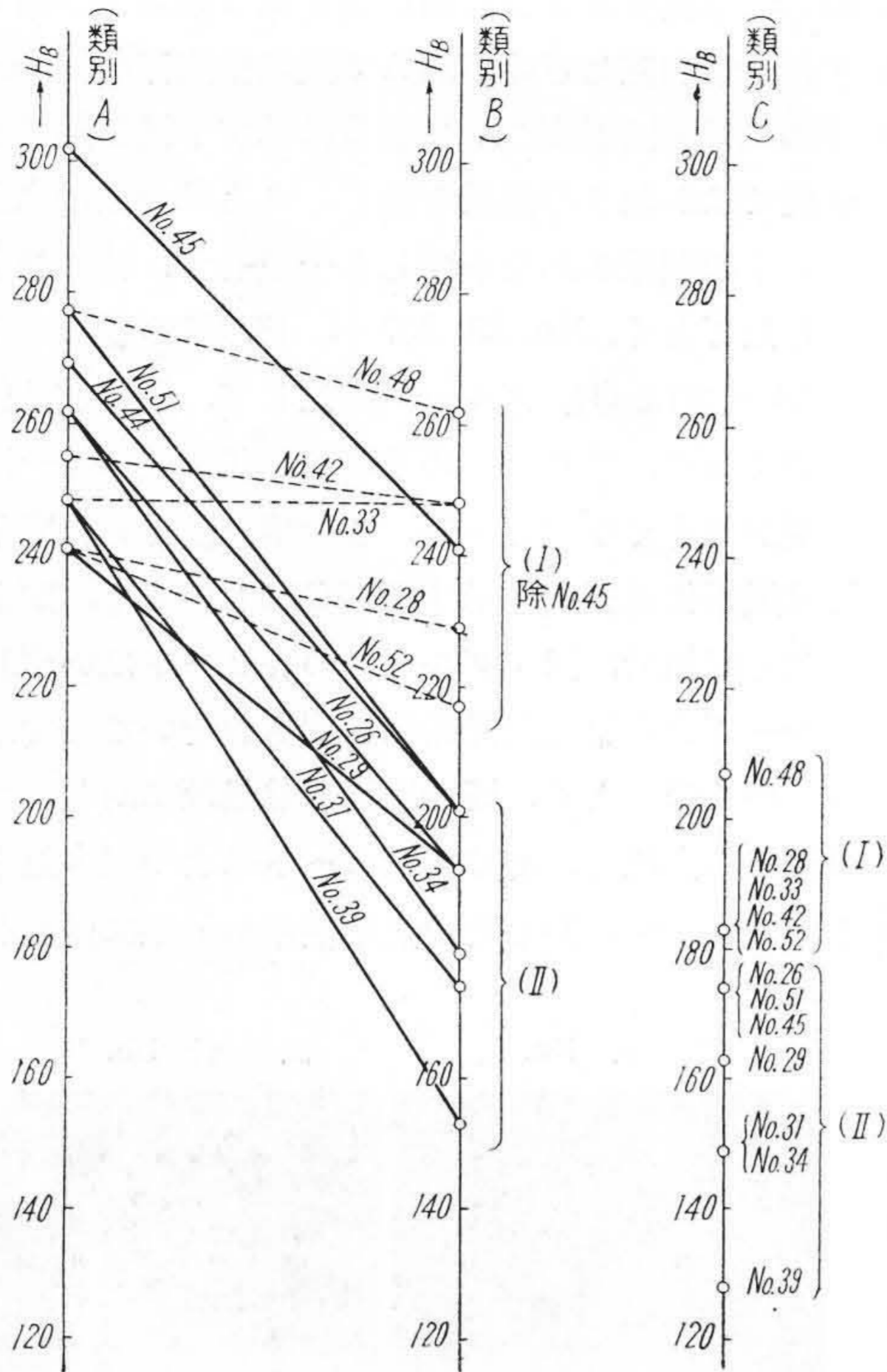
第 3 表 試料の化学成分および試験結果
Table 3. Chemical Composition and Test Results

試料番号	化 学 成 分 (%)					試験結果(H _B)		
	C	Si	Mn	S	Cr	A	B	C
No. 26	2.66	1.04	0.33	0.100	0.027	262	192	174
No. 28	2.55	1.07	0.33	0.108	0.028	241	229	183
No. 29	2.51	1.03	0.32	0.116	0.029	241	192	163
No. 31	2.71	1.02	0.33	0.104	0.036	248	174	149
No. 33	2.68	1.23	0.33	0.117	0.038	248	248	183
No. 34	2.59	0.88	0.33	0.113	0.030	262	179	149
No. 39	2.53	1.08	0.29	0.100	0.030	248	159	128
No. 42	2.64	0.86	0.30	0.092	0.041	255	248	183
No. 44	2.72	0.86	0.32	0.094	0.039	269	201	149
No. 45	2.60	0.83	0.32	0.102	0.036	302	241	179
No. 48	2.46	0.98	0.31	0.097	0.037	277	262	207
No. 51	2.51	0.86	0.31	0.101	0.037	277	201	174
No. 52	2.63	1.04	0.33	0.089	0.033	241	217	183

試料の化学成分および試験結果を第3表および第1図に示す。予備加熱せざる類別Aで黒鉛化進行度がH_Bで240~280の範囲の白鉄で、類別Bに示す予備加熱処理を含む焼鈍ではかなりの差異を生じ、AとBの黒鉛化難易の各ヒートの順位がかならずしも一致せず、特に第2図に明示したごとく、No. 28, 33, 44, 48, 52の各ヒートの(I)グループは(II)グループに比して、予備加熱効果がおとつており、これがため予備加熱処理後の第一段黒鉛化速度がおそくなつている。また第一段黒鉛化完了後の第二段黒鉛化進行度を示す類別Cにおいても、類別Bとまったく同様に、(I)グループの各ヒートはいずれも(II)グループより第二段黒鉛化速度もおそいことを示している。かくのごとく、同一予備加熱処理に対し、マレブル用組成の白鉄で、その熔解ヒートによつて本処理に対する敏感性、すなわちその黒鉛核増加効果に差異が見



第1図 予備加熱時間の影響
Fig. 1. The Effect of Preheating Time



第2図 予備加熱効果の第一段および第二段黒鉛化速度への影響

Fig. 2. Influence of Preheating Effect on 1st and 2nd Stage of Graphitizing Rate

られ、これがため予備加熱を含む黒鉛化焼鈍においては、予備加熱処理のない類別Aに示したごとき焼鈍における黒鉛化難易の順位からのみでは、その第一段および第二段黒鉛化難易を予測することは不可能と思われる。こゝに白鉄の黒鉛化難易を左右する因子の一つとして、箇々のヒートの白鉄のもつ予備加熱処理に対する敏感性に注目しなければならぬと考えるしだいである。

〔III〕 予備加熱効果におよぼす化学成分の影響

〔II〕で述べたごとく、白鉄によつて予備加熱効果に差異があり、その処理に対する敏感性を黒鉛化の難易を左右する因子の一つとして取りあげてきたが、従来からの黒鉛化の難易を左右する因子としての白鉄の化学成分と本性質との関連性を検討するため、こゝに予備加熱効果におよぼす各種成分元素の影響についてしらべたものである。

(1) Si の影響

(A) Si 1.2%以上および 0.9% 以下の白鉄の比較

(a) 試験方法

マレブル用白鉄の Si % は普通 0.8~1.4% の範囲内で

第4表 試料の熱処理サイクル
Table 4. Thermal Treatment Cycle of Specimens

試料 Si %	熱処理サイクル	
	I	II
0.9% 以下	930°C×8 hr 炉冷	530°C×5 hr+930°C×8 hr 炉冷
1.2% 以上	930°C×3 hr 炉冷	530°C×5 hr+930°C×3 hr 炉冷

第5表 試験結果
Table 5. Test Results

試料 Si %	焼鈍結果 (H _B)		黒鉛核数/mm ²	
	I	II	I	II
0.88	217	201	7~10	11~16
0.88	229	212	1~4	3~5
0.82	241	235	0~1	4~5
0.77	269	229	5~6	14~19
1.30	223	187	9~12	22~24
1.29	201	197	15~17	22~24
1.26	201	159	20~25	49~53
1.23	229	207	9~12	17~19

第6表 試験結果
Table 6. Test Results

試料 Si %	焼鈍結果 (H _B)		黒鉛核数/mm ²	
	I	II	I	II
0.94	288	217	3~5	23~27
1.02	277	212	—	—
1.16	263	207	3~8	23~27
1.26	—	212	—	—
1.28	223	212	13~15	23~27

あるが、この範囲内で Si の高低の白鉄について第4表に示す I と II の2通りの焼鈍を行い、これらの予備加熱効果を比較した。

これら I, II の焼鈍結果をブリネル硬度でしらべ、顕微鏡で黒鉛核数を算定した。

(b) 試験結果

Si 以外の化学成分は、2.5~2.7% C, 0.30~0.35% Mn, 0.09~0.12% S, 0.03~0.04% Cr の範囲内で大体において一定したもので、Si の高低別に焼鈍時間をかえて同じ程度の黒鉛化状態として比較した結果を第5表に示す。

黒鉛核数から見ると、高 Si の方が I, II ともに多く、黒鉛化の容易なことを示しているが、I から II への予備加熱による黒鉛核増加率からみれば、ともに2~3倍で差異は見られない。

(B) 同一白鉄における Si の影響

(a) 試験方法

2.40% C, 0.94% Si, 0.03% Mn, 0.102% S, 0.045% P,

0.031% Cr の白鉄を高周波炉で熔解し、途中 1,400°C で 75%Fe-Si で Si を添加し、1,450°C 10分間保持し、1,400°C で乾燥砂型に鑄込み、試験片を作製した。

試験片寸法 10×15×105(mm)

これら試験片をつぎのごとき 2 種の焼鈍を行い、その予備加熱効果をしらべた。

焼鈍 I. 950°C×3時間 炉冷

焼鈍 II. 530°C×5時間+950°C×3時間 炉冷

(b) 試験結果 第6表に示す。

これら試料中原湯、1.16% Si, 1.28% Si の試料の顕微鏡組織を第3図に示す。この結果は、I の焼鈍で Si の増加とともに黒鉛化の促進が示されているのに対して、II の予備加熱サイクルの焼鈍では、H_B、黒鉛核数ともにかかわらず、この程度の Si の上昇では、その白鉄の予備加熱効果はなんら影響されない。

(C) Si 接種効果の影響

(a) 試験方法 (B) の試験では Si を十分熔解せしめたものについて行ってきたが、Si 0.1% 前後の量の 75% Fe-Si を注湯直前に杓添加して試料を作製し、これら試料は (B) の試験同様の焼鈍を行った。試料に用いた原湯の化学成分は 2.51% C, 1.08% Si, 0.34% Mn, 0.115% S, 0.038% Cr である。

(b) 試験結果 第7表に示す。

Si の接種効果にもなつて焼鈍 I ではいちじるしく黒鉛化が促進されている。これに対して II の予備加熱を含む焼鈍結果では、(B) の結果同様ほとんど差がなく、このような接種効果によつても予備加熱効果はなんら影響されていない。

(2) Mn の影響

Mn は白鉄成分中にあつて、共存する S と MnS を作るため、Fe₃C の黒鉛化に特に有害な S の中和元素として、有効であるため、普通 0.3~0.4% が加えられているが、MnS を作るに必要な Mn 量より過剰な Mn は Mn 単独の影響として、第一段および第二段黒鉛化の阻害元素として働く、かくのごとき Mn が本効果に対して黒鉛化同様に阻害効果を持つかどうかをしらべた。

(a) 試験方法

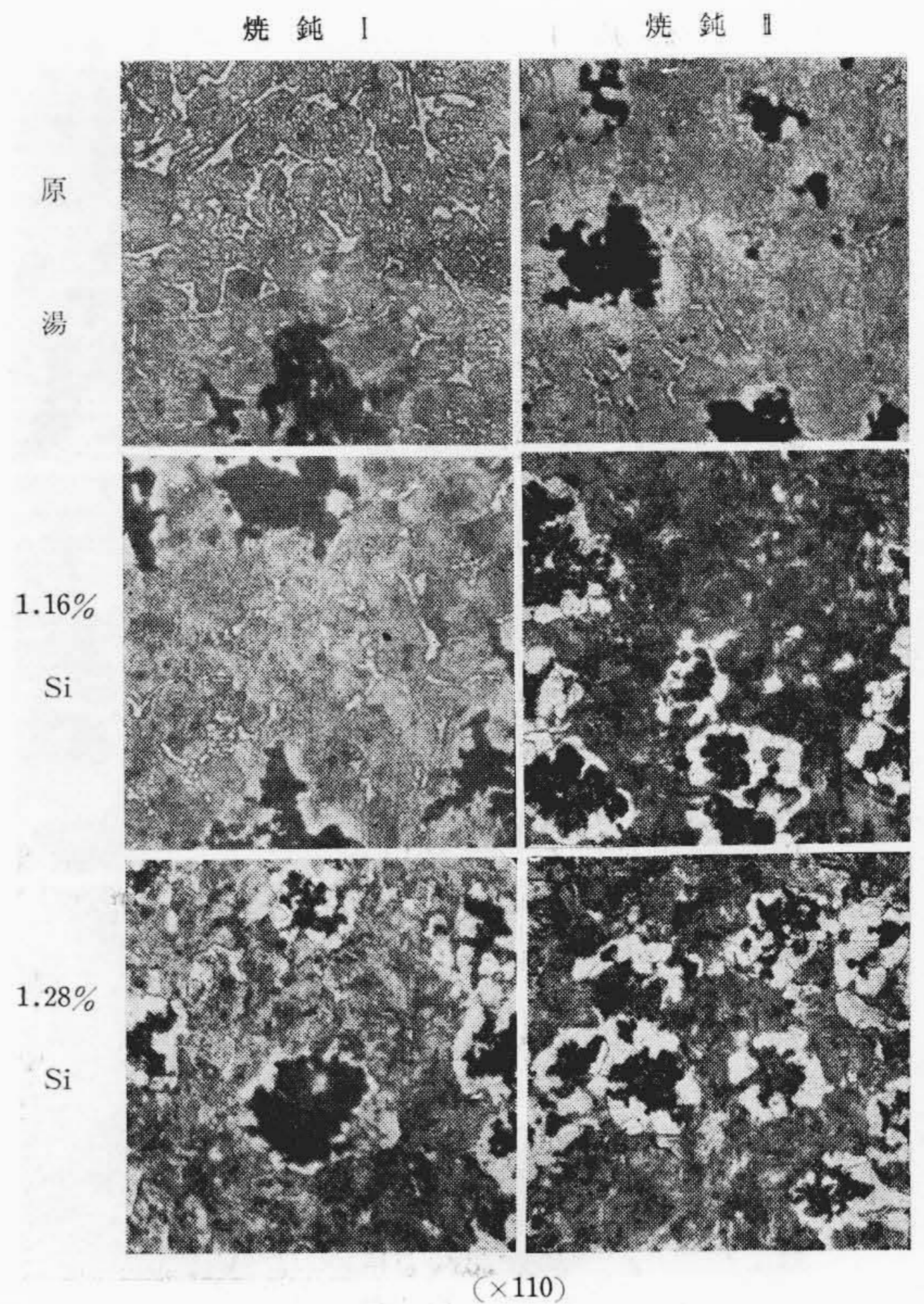
試料の作製方法および使用した白鉄は Si の (B) の試験と同じで、Mn の添加は 75% Fe-Mn を用いた。これら試料をつぎのごとく焼鈍し予備加熱効果への Mn の影響をしらべた。

焼鈍 I: 950°C×5時間 炉冷

焼鈍 II: 530°C×5時間+950°C×5時間 炉冷

(b) 試験結果 第8表に示す。

これらの試験結果中原湯、0.40% Mn, 0.46% Mn の試料の顕微鏡組織を第4図に示す。



第3図 Si の影響
Fig. 3. The Influence of Si Content on Preheating Effect

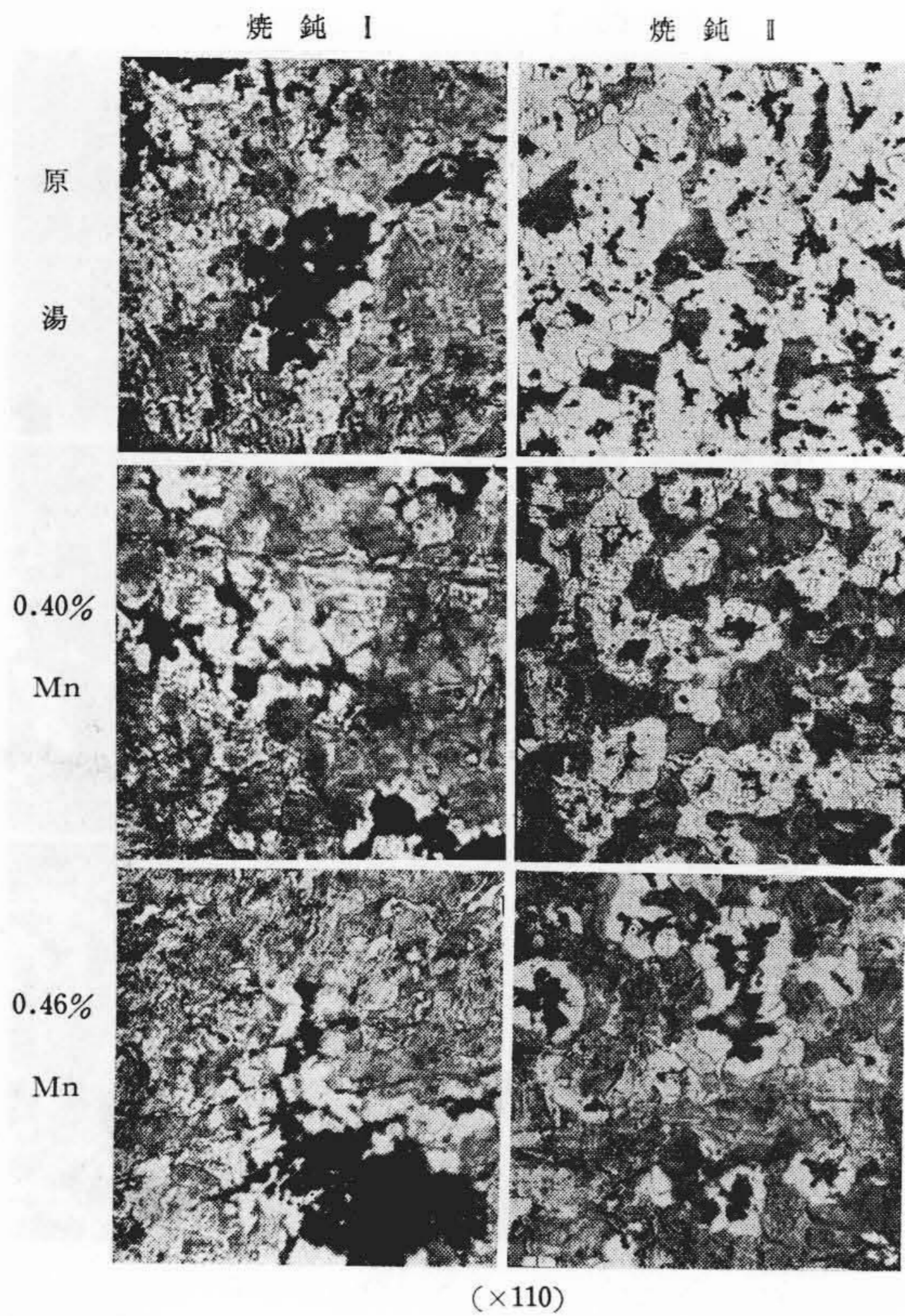
第7表 試験結果
Table 7. Test Results

試料 Si %	焼鈍結果 (H _B)	
	I	II
原湯	277	192
+0.075*	197	192
+0.115*	187	187

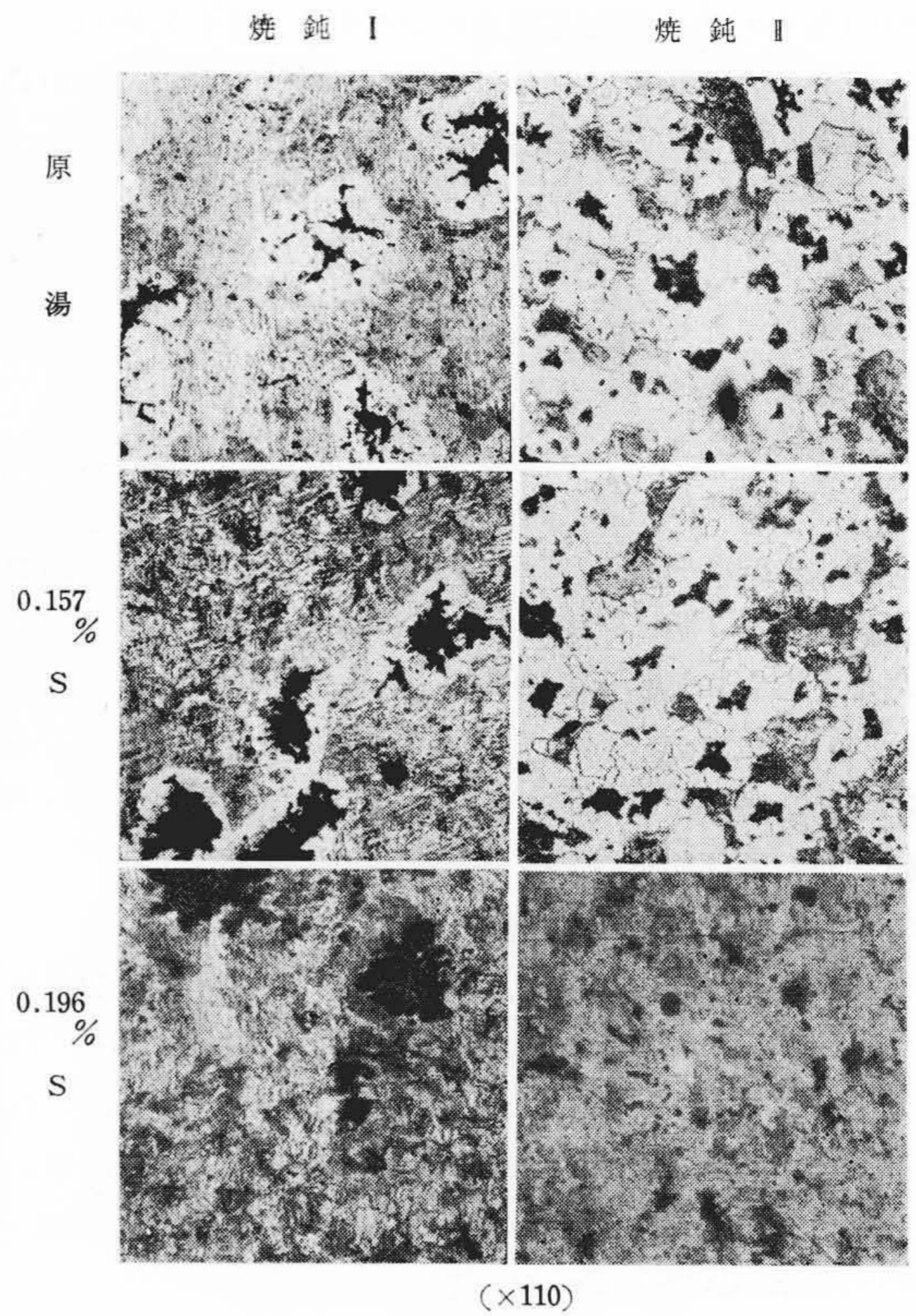
* 添加量

第8表 試験結果
Table 8. Test Results

試料 Mn %	焼鈍結果 (H _B)		黒鉛核数/mm ²	
	I	II	I	II
0.30	235	146	3~5	80~90
0.35	235	149	—	—
0.40	235	167	2~3	45~55
0.42	—	174	—	—
0.46	—	192	0~1	37~46



第4図 Mn の影響
Fig. 4. The Influence of Mn Content on Preheating Effect



第5図 S の影響
Fig. 5. The Influence of S Content on Preheating Effect

黒鉛化特に第二段黒鉛化阻害元素としての Mn の本効果への影響は、この程度の Mn 範囲では焼鈍 I, II ともに黒鉛化進行度は低下の傾向を示すが、黒鉛核数から見れば、Mn の Fe_3C 安定効果により、黒鉛核が算出できるある大きさまで成長しないものが増すため、I および II ともに算出した核数は減少しているが、I から II への予備加熱効果による増加の割合はあまりかわりなく、この点 Mn の黒鉛化阻害効果にもかかわらず、本効果にはほとんど影響ないものとみなしうる。

(3) S の影響

S はマレブル焼鈍において、Cr とともに特に黒鉛化阻害元素として取りあげられており、Mn の項で述べたごとく、ある程度 Mn の適量によりその影響は中和されるが、0.15% 以上では、普通の焼鈍方法で黒鉛化を完了せしめることは困難となる。このように黒鉛化に有害な S の本効果への影響についてしらべた。

(a) 試験方法

29% S の硫化鉄の添加により、前項と同様の方法で試験料を作製した。焼鈍サイクルも前項同様。

(b) 試験結果 第9表に示す。

これら試験料中 0.099% S, 0.157% S, 0.196% S の試験

第9表 試験結果
Table 9. Test Results

試料 S %	焼鈍結果 (H_B)		黒鉛核数/mm ²	
	I	II	I	II
0.099	217	146	5~9	82~90
0.157	217	146	5~9	73~82
0.196	—	201	5~9	19~28
0.230	223	223	—	—
0.297	241	223	—	—

の顕微鏡組織を第5図に示す。

I, II の硬度変化から見れば、S の増加につれ、黒鉛化はかなり阻害されてくることが示されているが、黒鉛核数では I であまり変化のないのに対し II では 0.196% S 以上の増加でかなり減少を示し、S の本効果に対する抑制作用を一見示しているが、顕微鏡組織からわかるごとく、この場合も Mn の場合同様に S の黒鉛化阻害効果のため黒鉛核が成長せず、核数の算定が困難になっている面もあり、本質的には S の本効果への影響はあまりないとみなしうる。

(4) Cr の影響

S 同様強力な黒鉛化阻害元素としての Cr は、マレブ

第 10 表 試 験 結 果
Table 10. Test Results

試 料 Cr %	焼 鈍 結 果 (H_B)		黒鉛核数/mm ²	
	I	II	I	II
0.026*	235	146	—	—
0.048	235	163	—	—
0.061	241	170	1~4	73~82
0.086	255	201	—	—
0.104	262	217	1~4	28~32
0.110	277	217	—	—

* 原湯

第 11 表 試 験 結 果
Table 11. Test Results

試 料 P %	焼 鈍 結 果 (H_B)		黒鉛核数/mm ²	
	I	II	I	II
0.112*	235	146	—	—
0.189	217	152	9~12	73~82
0.257	217	167	—	—
0.325	212	179	9~12	41~46

* 原湯

ル用白鉄について、0.07%以下に制限されている。この
ような Cr の本効果この影響をしらべた。

(a) 試 験 方 法

試料の作製方法は前項同様で、Cr の添加は 65% Fe—
Cr を用いた。I, II の焼鈍サイクルも前項同様である。

(b) 試 験 結 果 第 10 表 に 示 す。

これらの試料のうち 0.061% Cr, 0.104% Cr の試料の
顕微鏡組織を第 6 図に示す。

Cr の本効果この影響は S とそれと全く同様で、実験
値の上では一見抑制作用を示しているが、本質的には本
効果に特に影響があるとみなすことは困難である。

(5) P の 影 響

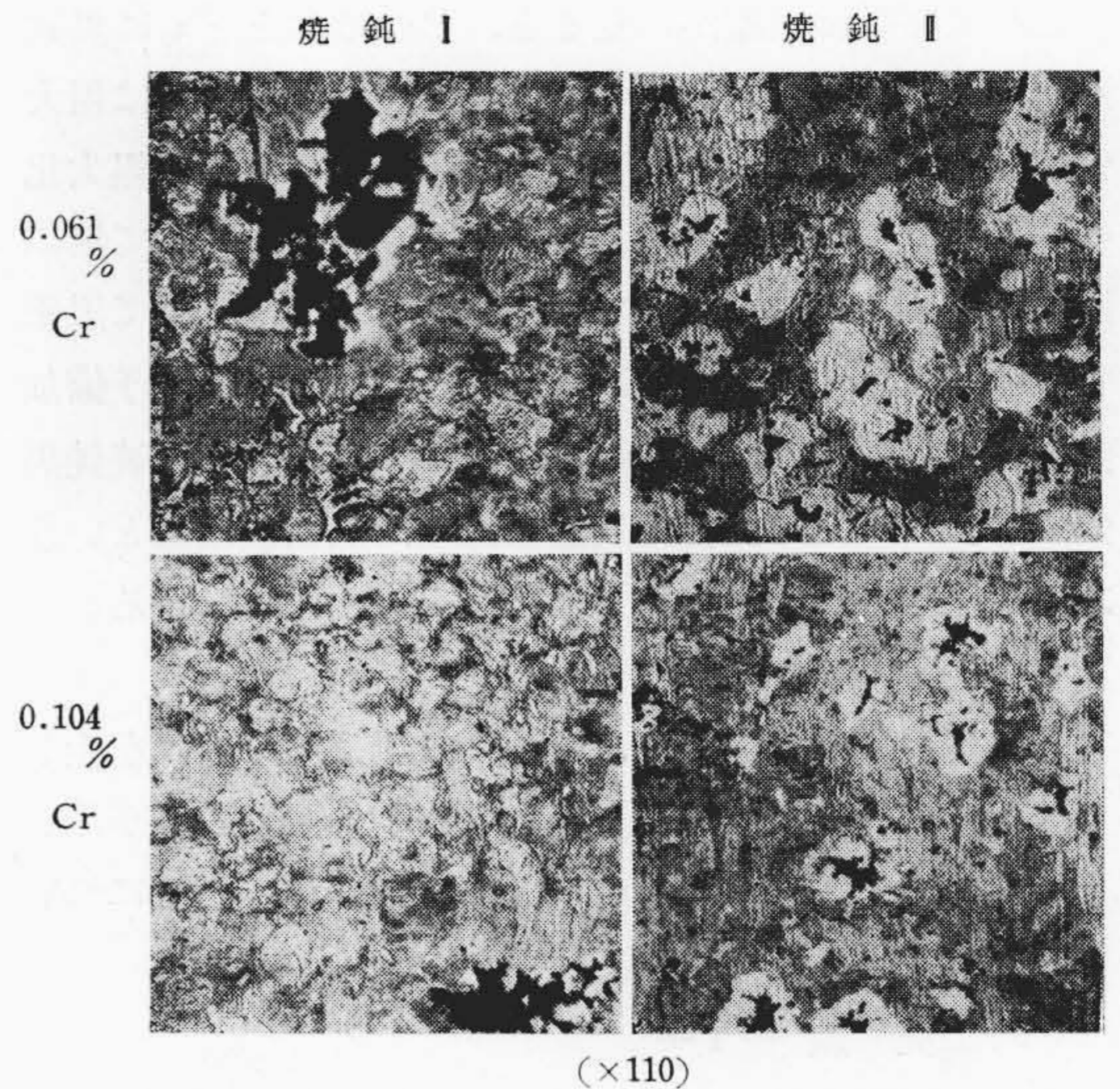
P の白鉄の黒鉛化におよぼす影響については、すでに
我国では菊田⁽²⁾、西原、沢村各博士らにより、第一段黒
鉛化これの促進効果および第二段黒鉛化への阻害効果が
報告されているが、J.E. Rehder⁽³⁾ は第一段および第二
段に対して P は Fe₃C の安定剤として働くと述べてお
り、この点 P の黒鉛化への影響はやゝ明瞭を欠く点が考
えられる。かような P の本効果への影響をしらべた。

(a) 試 験 方 法

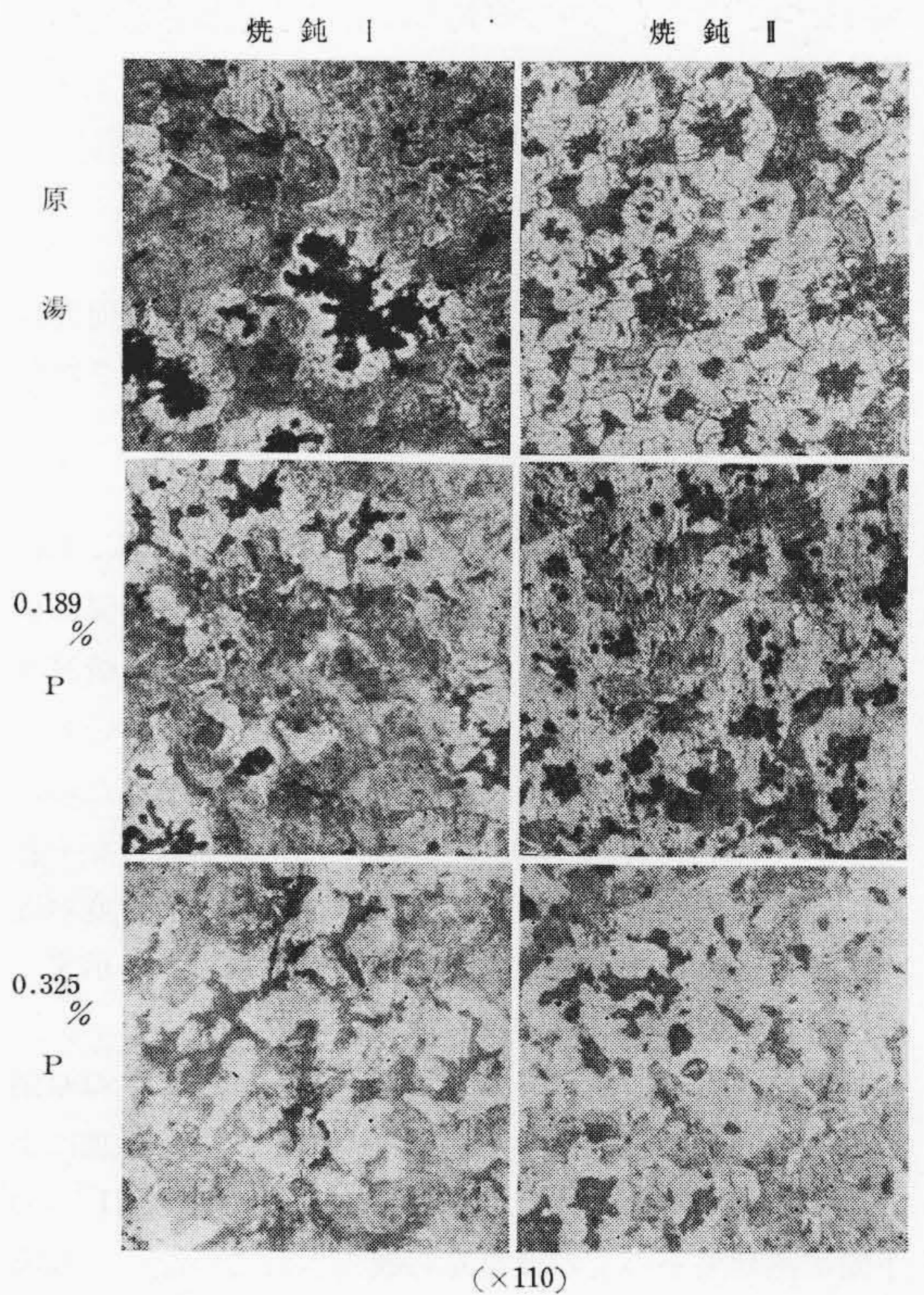
試料の作製および焼鈍サイクルは前項同様で、P は 25
% P の燐鉄により添加した。

(b) 試 験 結 果 第 11 表 に 示 す。

これら試料中、原湯、0.189% P, 0.325% P の各試料
の顕微鏡組織を第 7 図に示す。



第 6 図 Cr の 影 響
Fig. 6. The Influence of Cr Content
on Preheating Effect



第 7 図 P の 影 響
Fig. 7. The Influence of P Content
on Preheating Effect

予備加熱を含まざる I のサイクルではあきらかに P は
黒鉛化促進効果として働くが、予備加熱を含む II のサ
イクルでは逆に、やゝ黒鉛化阻害効果として働いている。

これは顕微鏡組織から見ると、Pの増加とともに黒鉛形状は不規則な片状となつてきて、黒鉛粒としては粗大化の傾向を示す。これが予備加熱処理後ではその粗大化の傾向を持ちつゝ効果を示しているため、主として第二段黒鉛化の進行度を示している II では、かえつて黒鉛化速度の低下を示す結果になつている。結局Pの予備加熱効果への影響は一見抑制作用を示すが、これは焼鈍黒鉛の形状へのPの影響の反影であり、黒鉛核増加という本効果の本質にはあまり影響ないものとみなしうる。

(6) Al の 影 響

黒心可鍛鋳鉄において、その白銑時にモットルを生じない限度において、脱酸の目的で Al の取鍋添加が用いられる。このような少量の Al の本効果への影響についてしらべた。

(i) 実 験 — 1 —

(a) 試験方法 白銑成分 2.60% C, 1.09% Si, 0.33% Mn, 0.103% S, 0.033% Cr の熔湯に 0.1% 以下の Al を注湯直前杓で添加して試料を作製した。これらの試料をつぎのサイクルで焼鈍し、その予備加熱効果への影響をしらべた。

焼鈍 I: 980°C×3時間

焼鈍 II: 530°C×5時間+980°C×3時間

(b) 試験結果 第12表に示す。

I, II ともに Al 添加量の増加により黒鉛化が促進されているが、予備加熱効果がこの添加で特に促進されたとは見られない。

(ii) 実 験 — 2 —

(a) 試験方法 実験 — 1 — 同様に、2.63% C, 1.01% Si, 0.33% Mn, 0.118% S, 0.03% Cr の白銑熔湯に少量の Al 添加を行つて試料を作製した。I, II の焼鈍サイクルは、Al 添加量の多少により黒鉛化速度にいちじるしい差異を生じ、試料相互の比較が困難になるため、0.01% Al 添加試料と、0.03~0.07% Al 添加試料をそれぞれ別個なサイクルで焼鈍しこれらを黒鉛化進行度の近い状態で比較した。この焼鈍サイクルを第13表に示す。

(b) 試験結果 第14表に示す。

予備加熱処理に対してほとんどその効果を示さぬ原湯に対して Al 添加を行つた結果、0.01% で Al 添加による黒鉛化促進の効果は I で見られるが、I から II への予備加熱効果そのものはなんら改善されていない。0.03% 以上でやゝ本効果改善の傾向が見られるが、Al 添加にとまなう Fe₃C の黒鉛化速度の促進効果に比すれば、特に予備加熱効果の改善を強調すべきほどのものでもないと考えられる。

[IV] 結 言

予備加熱効果におよぼす黒鉛化促進元素、および阻害

第 12 表 試験結果
Table 12. Test Results

試 料 Al 添加量	焼 鈍 結 果 (H _B)	
	I	II
原 湯	235	187
+0.03	201	159
+0.07	183	146

第 13 表 試験焼鈍 サイクル
Table 13. Test Annealing Cycle

Al 添加量 (%)	焼 鈍 サ イ ク ル	
	I	II
+0.01% 以下	980°C×3 hr	530°C×5 hr+980°C×3 hr
+0.03~0.07%	920°C×3 hr	530°C×5 hr+920°C×3 hr

第 14 表 試験結果
Table 14. Test Results

Al 添加量 (%)	焼 鈍 結 果 (H _B)	
	I	II
原 湯	269	262
+0.006	269	262
+0.01	229	223
+0.03	229	207
+0.05	217	187
+0.07	207	179

元素の影響に関する本研究により、これらの元素は本質的に予備加熱処理による黒鉛核増加の本効果をなんら左右する因子とはならないことをあきらかにした。

このことは、[II]の予備加熱効果の検討の章であきらかにしたごとく、白銑により本処理に対する敏感性に大小があり、その効果の大小が、それら白銑の第一段および第二段黒鉛化速度にかなり影響をもっている事実と考え合せ、実際の現場焼鈍に際して、白銑の黒鉛化難易を左右する因子として従来から考えられてきた化学成分以外にあらたに本効果に関する白銑の性質、すなわち予備加熱温度における黒鉛核発生の難易に関する性質をともに考慮に入れる必要のあることをあきらかにしたものである。

またこの性質は白銑熔製時の原材料の種類配合割合、およびその操業条件などのその白銑の化学成分以外の因子により構成された性質と考えられ、これは本報告中の試験方法で示したごとき短時間の試験焼鈍方法により、かなり明確に数量的に把握しうるものである。

参 考 文 献

- (1) 西村, 藤井: 日立評論 第34巻11号
- (2) 菊田多利男: 鋳物本質論
- (3) J.E. Rehder: Tran. A.F.S. 1952
その他