

## 鑄 鐵 の 研 究

(大正十四年十月十七日日本鐵鋼協會創立第十週年紀念大會講演)

谷 村 熙

## 目 次

I 緒言	る 冷却速度の試験
II 鑄鐵の黒鉛化に関する諸學説及豫備實驗	V 冷却試験の結果
III 鑄鐵の冷却速度の測定	VI 顯微鏡的觀察
IV 實驗の方法	VII 機械的試験
い 原料	VIII 結論

## I 緒 言

鑄鐵は鋼に比し不純物殊に炭素の含有量が多いものであるが金屬組織から云へば地金が鋼と同様で唯之に黒鉛が介在して含まれて居るものと考へればよい。地金の強さは鋼も鑄鐵も大差が無いわけであるから鑄鐵の強さや伸びが大いに鋼に劣るのは全く此黒鉛に起因するものと云ひ得る。かの可鍛鑄鐵では黒鉛が粒狀になつて介在する爲其強さや伸びに於て鑄鋼品に近い事實は之をよく示して居る。そこで鑄鐵の研究では如何にして黒鉛の分量を適當にし其形狀を整へるか最も重要な問題であつて黒鉛析出を支配する化學成分と冷却速度を第一に調べなければならない。其内第一の化學成分中黒鉛析出に一番重要な働きをなす元素は炭素及び硅素であるとは今では誰も知る事であるが此關係を始めて組織的に研究發表したのは英國のターナー氏<sup>(1)</sup>で1885年頃の事である、其後各國の學者により隨分多數の研究がなされ他の元素の影響も明かにされた。然るに黒鉛の形狀に重大な關係のある冷却速度に就ては殆ど秩序立つた研究が無い。尙今迄研究されて居る化學成分と鑄鐵の性質との關係にも曖昧な點が多いのは冷却速度の影響が等閑視されて居る爲であると思はれたので余の本研究に於ては冷却速度を最も重要視して各種鑄鐵の比較研究を試みつゝあるので此處には其一部分の炭素と硅素を含み他の不純物の少い特別の鑄鐵につき行つた實驗の報告を第一報として申述べ様と思ふ。

## II 鑄鐵の黒鉛化に関する諸學説及豫備實驗

鐵炭素系合金に於ける黒鉛發生に關しては黒鉛が融鐵の凝固中或は其後に地金から直接析出すると云ふ説と始めに  $Fe_3C$  なる化合物が出来分解により次に發生するものであると云ふ説がある。後者にも單に  $Fe_3C$  即ちセメントイトが不安定な状態<sup>(2)</sup>であるから容易に  $Fe_3C = 3Fe + C$  の如き分解をすると云ふ説と東北大學金屬材料研究所の研究の様之を瓦斯の接觸作用即ち  $Fe_3C + CO_2 = 3Fe + 2CO$  なる化學式で説明する説とがある。近頃の書物や雑誌を見ると一旦セメントイトが析出し其分解により黒鉛が生ずる説の方が多く認められて居る様である。又黒鉛化に  $CO_2$  瓦斯の作用が與つ

(1) T. Turner Jour. Chem. Soc. Vol. 47. (1885) p. 577, 903

(2) 本多、村上、東北大學、理科報告、第10卷、273頁

て居る事は東北大學の詳細な實驗報告により明かに示されて居るし余も實驗中屢々此事實を見得た。然るに通常の鑄鐵の様に硅素が多量に入つて居る場合には如何になるかは明確に判つて居ない。濱住博士の研究<sup>(3)</sup>では此場合も鐵、硅素、炭素より成る或複化合物が出来之が矢張り瓦斯の接觸作用で分解すると説明せられて居る。余の實驗では後に顯微鏡組織の所で示す様に高硅素の場合にも冷却速度が或も程度以上に大きい場合にはセメントイトに似た化合物が出来ることが分つた従つて黒鉛は此場合に二次的に生ずるものであると言へる。又此分解には  $\text{CO}_2$  の如き酸化瓦斯が之を促進する作用を有して居るのは明かであるがいつでも瓦斯の接觸作用を要するか、云ひ換れば  $\text{CO}_2$  の如き瓦斯が少しもない場所では  $\text{Fe}_3\text{C}$  或は複化合物が全く安定な状態にあるかと云ふ事は餘程嚴密な實驗をした後でなければ斷定出来ない。余は少くとも硅素のある場合にはセメントイトに相當する化合物は極めて不安定で之が固溶體として鐵地金中にある時は黒鉛に変化しないが一旦遊離して析出すると自分で分解する傾向があるものと説明した方が穩當だろうと考へて居る。

次に黒鉛の析出が何度で起るかと言ふ事に就ては Goerens Gutowsky Heyn 及 Bauer Northcott 氏等の實驗があるが其結果は孰れも一致して居て黒鉛の析出がユートクテイツク温度或は其れより少し下つた所で大部分起り以下  $650^\circ\text{C}$  附近迄徐々に其量が増す事になつて居る。こゝに第1表と第1圖に Goerens Gutowsky 氏等の實驗結果を引用する。兩氏は炭素 3.91% 硅素 0.12% なる純鑄鐵を熔し第一表に示されて居る各温度迄徐々に爐内冷却をして來てこゝで氷水中に急冷し其黒鉛量を分析し全炭素に對する黒鉛割合を第一圖に示したものである。余も同様の目的で硅素を相當含んだ純鑄鐵につき豫備實驗を行つたが其方法は Goerens 氏等と少しく異つて居る。試料を先づタンマン式電氣爐で熔かし一方抵抗型電氣爐を或一定の温度例へば  $1000^\circ\text{C}$  に保つて置き。熔解爐中で試料が此  $1000^\circ$  に近づいた時迅速に第2の爐に移し

第一表 ゲーレンス・グトウスキー氏ノ實驗値

水中冷却の 時間=於ナル 爐ノ温度	全炭素 %	黒鉛 %	結合炭素 %	全炭素=對 スル黒鉛割合
1140	3.95	—	3.95	—
1120	3.93	1.05	2.88	26.7
1120	3.93	1.89	2.04	48.2
1080	3.96	2.61	1.35	66.0
950	3.92	2.87	1.05	70.8
750	3.88	3.16	0.72	81.5
650	3.85	3.21	0.64	85.7
[1150]	3.94	2.43	1.51	61.4

此中で1時間  $1000^\circ$  に保つた後水中に急冷する。此くして試料の黒鉛量と全炭素に對する其割合を出した。第二表及第二圖は余の豫備實驗中 No. 5 の試料 (C = 3.50%, Si = 1.87%) についての結果を示す。

此兩結果の異つて居るのは次の

(3) 濱住、東北大學理科報告、第13卷、133頁

(4) P. Goerens, N. Gutowsky; Metallurgie. V. Jahrg. (1908) 5.136

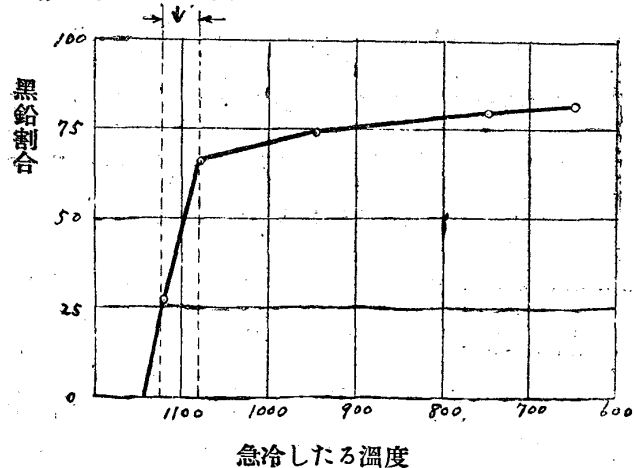
(5) E. Heyn, O. Bauer; St u. E 27 Jahrg. (1907) S. 1565, 1621

(6) L. Northcott; The Metal Industry Vol. 24. (1924) p. 554

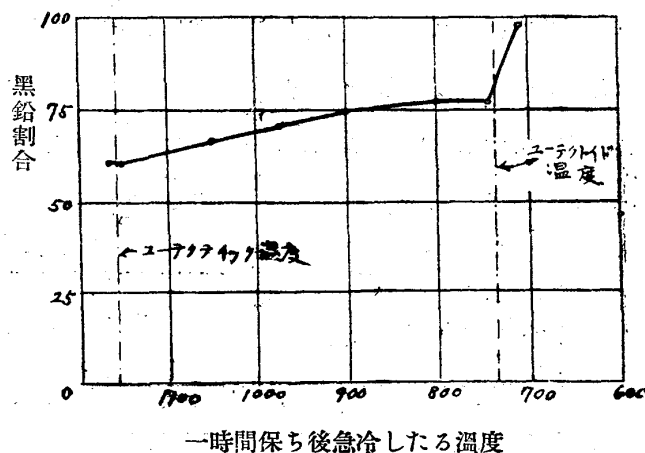
第 二 表

番 號	一時間保ち 而して後 急冷したる温度	全炭素	黒鉛	結合炭素	全炭素に 對する黒鉛 の割合%
30	1160	2.65	1.63	1.02	61.5
47	1150	3.40	2.06	1.34	60.6
46	1058	3.42	2.16	1.26	63.2
45	970	3.49	2.45	1.04	70.2
44	900	3.22	2.40	0.82	74.5
34	800	3.34	2.57	0.77	76.9
35	740	3.37	2.60	0.77	77.2
48	707	3.42	3.34	0.08	97.7

ユーテクトイック  
凝固の範圍 第一圖



第二圖



様に解釋せられる。

(1) 此の場合にユーテクトイック點より稍高い温度から急冷しても黒鉛が多量出て居るのは實は此温度以上に出たのではなくて、硅素が高い爲と黒鉛を阻止するだけ冷却が迅速でなかつた爲である。

(2) 急冷する迄に其温度に1時間も保つてあつた爲 Goerens 氏等の場合よりも一層平衡状態に近くなつて居る従つてユーテクトイック温度より稍下つた温度の所でパーライトの中のセメントイト迄が殆ど分解して黒鉛が98%にもなつたのである。

(3) 1160° で保つた試料の炭素の減少は1時間の間嚴密に此温度に保ち得なかつた爲金屬の一部分にユーテクトイック迄下つた所が出来其黒鉛が浮び出た爲と思はれる。

此く考へて來ると Goerens 氏等のみならず之に類似の實驗値は、其冷却が充分速かで黒鉛を急冷

の瞬間から阻止する事が出来たと云ふ條件つきで無ければ信用出来ないわけである。

以上の實驗とセメンタイト分解の黒鉛化説を基として鑄鐵の冷却が充分緩かで平衡状態に近い時は黒鉛化が次の様に起ると余は考へた。

(1) 黒鉛は遊離セメンタイトが出来た後に此分解により生ずる。従つてハイポユーテクトイックの融鐵があればユーテクトイック温度にならなければ黒鉛が析出しない。

(2) ユーテクトイック温度は遊離セメンタイトが一時に生ずる温度であるから黒鉛化が一番旺盛でオーステナイト中に熔け得る炭素量(硅素の微少の時は約 1.7%)を残して他の炭素は全部黒鉛化し得る。

(3) 此温度からユーテクトイド温度迄はオーステナイト中の炭素溶解量が減するだけセメンタイトが出て之が黒鉛化する。

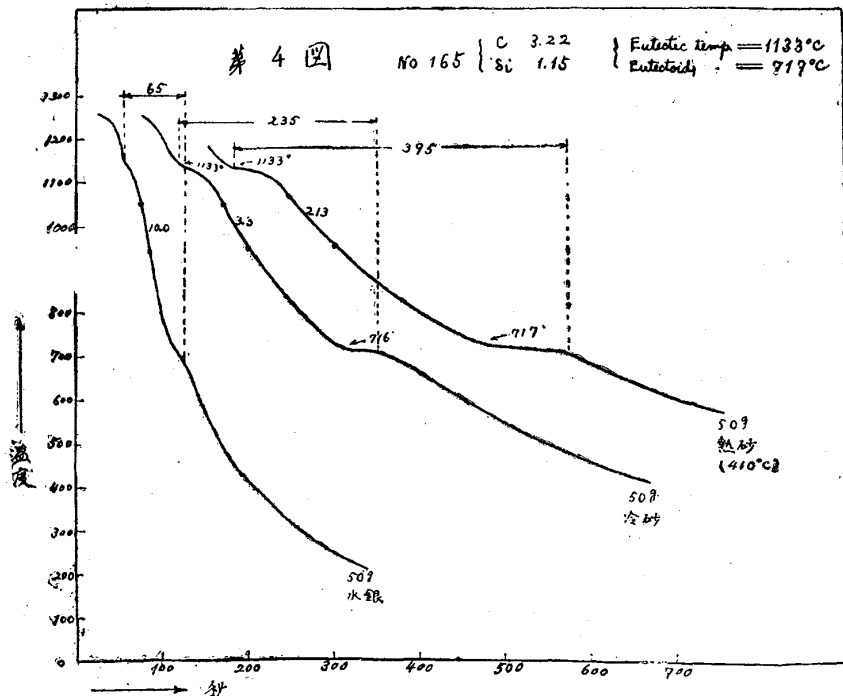
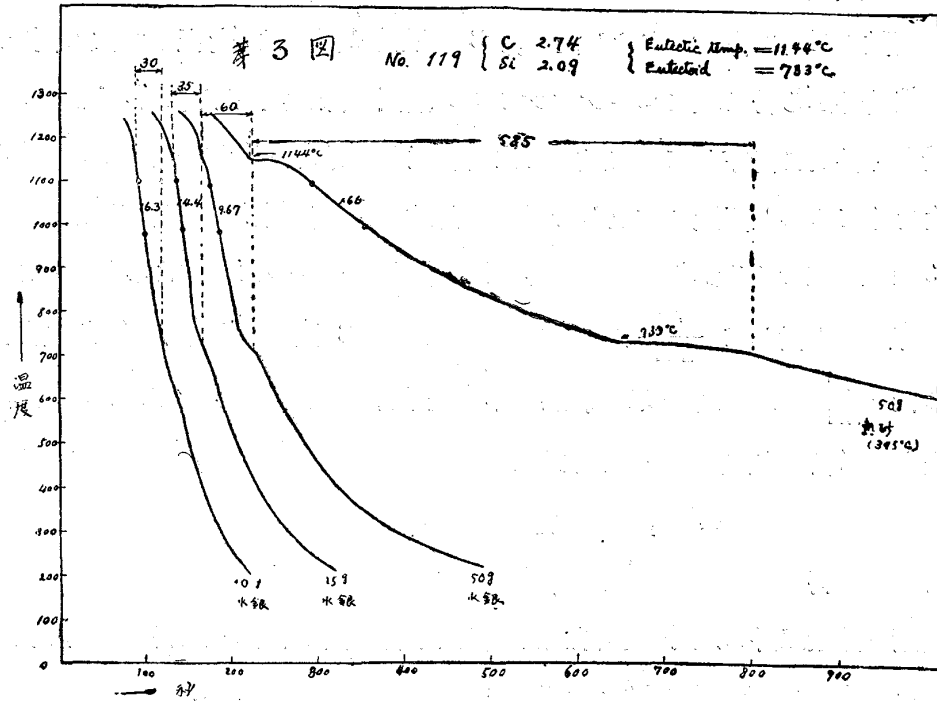
(4) 最後にユーテクトイド点( $A_1$ )に至つてパーライトが析出し其中のセメンタイトが黒鉛化する。

實際の場合には冷却の速度が大きい爲此様に完全に黒鉛化は起らない。一方セメンタイトの分解力は高温度程強いからユーテクトイック附近から  $900^{\circ}\text{C}$  位迄は黒鉛化が盛んであるが其以下では分解が緩漫となりパーライト中のセメンタイトになると餘程黒鉛化し難いものになる。

扱て鑄鐵の強さに就て云へばパーライト迄に析出する遊離セメンタイトは脆く堅い成分を作るから之を全部黒鉛化し、しかも其黒鉛を成るべく微細な形として析出せしめる、而してパーライトは地鐵として一番強い組織であるから、パーライトの内の所謂ユーテクトイドセメンタイトは黒鉛化せず保存すると云ふのが理想的である。そこで本研究では此2種の黒鉛化を別々にして先づパーライト迄に出る遊離セメンタイトの黒鉛化現象及黒鉛の形状と冷却速度との關係をしらべる事にした。

### III 鑄鐵の冷却速度の測定

徐々の冷却を與へる場合には融鐵を砂に注ぐとか或は熱した砂型に入れるとか更に進んでは爐内冷却を行へば容易く目的を達せられるが、急速冷却の場合には金型に鑄込む方法が一般に用ゐられて居る。即ちチルの試験と云ふのは之であるが此方法では温度の變化を高温度計で記録する事が困難である。何故なれば金型に高温度計の尖端を挿入して之に融鐵を鑄込んで10數秒或は其以上後でなければ鐵の温度と高温度計の指示する温度とが同一にならぬ、其内に鐵の方が急速に冷却してしまふ。余は此場合に液體金型とも言ふべき水銀を用ゐ先づタンマン式坩堝に鐵を融解して所要の鑄込み温度になつた時融鐵中に高温度計の尖端を挿入したまゝ坩堝ごと水銀中に投入する。此くして鑄込みの直ぐ瞬間から正確に温度の變化を記録する事が出来た。或時は水銀の代りに水を用ゐたが水蒸氣の發生が烈しく温度の下降が攪拌の程度により大差あり、高壓の水蒸氣が坩堝壁を通して融鐵に入り金屬を跳ね飛ばす等の困難があつたので2.3の試料に用ゐたに過ぎない、冷却の遅速は急冷の場合に限り水銀量を變へずに試料の分量を 10瓦、25瓦、50瓦等に變へて加減した。徐々の冷却には矢張融鐵をタンマン式坩堝に入れたまゝ冷い砂型とか各種温度に熱した砂型に投入する方法をとつた、次に鑄込まれた鐵の冷却速度



を如何なる方法で比較したならば一番都合がよいかと云ふ事を考へた。物理學より云へば冷却速度は一定時間に下降した温度を以て言ひ表はすべきである。例へば  $Z_1$  なる時に  $T_1$  なる温度にあつた鐵が  $Z_2$  なる時に  $T_2$  なる温度に下つたとすれば其時間内の平均冷却速度は  $\frac{T_2 - T_1}{Z_2 - Z_1}$   $= \frac{dT}{dZ}$  である。然るに一般に金屬鑄造の場合には鑄型が鐵より受取る熱量が放散する熱より

大きい爲  $\frac{dT}{dZ}$  が刻々に減少する。且つ減少の程度即ち  $\frac{d^2T}{dZ^2}$  で示さるゝ値も金型を用ゐたり砂型を用ゐたりしたのでは随分異つて來て之等の數値では簡単に比較が出来ない。所で前章で述べた様に平衡状態としてはパーライト迄に析出する遊離セメントはユーテクトイツク温度からユーテクトイド温度迄の間に黒鉛化する事が分るから其間を冷却するに要した時間數を以て冷却の速さを比較するのが一番合理的で通常の冷却状態では遊離セメントがユーテクトイド停止點で相當黒鉛化すると

考へられるから余の實驗ではユーテクトイック温度の開始點からユーテクトイド終結點迄の時間をとる事にして此時間數を Zなる符號で表はした。第3圖及第4圖には Zを出す方法の例を示した。又第3圖及第4圖の熱曲線から分る様にユーテクトイック凝固の際に温度下降の停止があるが之を過ぎると暫くの間は殆ど直線的に降下して居て此間では定義通りの冷却速度が一定である。特に冷急の場合には此範圍が大きくて 900° 附近に迄及んで居る。前述の様に黒鉛化の一番旺盛なのはユーテクトイック温度から 900° 邊迄であるから急冷の場合には此値を用うるのは一番よろしい。以下余の實驗で凝固後の最大冷却速度と稱して  $\frac{\Delta T}{\Delta Z}$  を以て之を表はす第3圖の 16.3、14.4 等の數字は上下兩マークの間でとつた  $\frac{\Delta T}{\Delta Z}$  である事を示す、然し乍ら緩冷部分の廣い場合にわたつて黒鉛化度と比較する場合には先きの Z 値の方が良いと思はれる。

#### IV 實驗の方法

##### い 原 料

此實驗では炭素と硅素以外の成分の影響が無い様出來得る限り純粹の原料鐵を撰び第3表に其等の化學成分を示した。然るに此根本原料たる雲伯銑、瑞典鐵及硅素鐵の3つを熔し合せても却と計算

第三の表  
原料鐵の化學成分

	全炭素	硅素	滿 俺	燐	硫 黄	摘 要
雲伯白銑	3.14	0.005	0.15	0.046	0.032	大阪木村商會社ヨリ
硅素鐵	0.28	64.75	0.086	0.086	—	"
瑞典鍊鐵	0.07	0.20	0.061	0.061	0.009	7-7式電氣炉=7熔製
中 間 合 成 鐵	No. 115	2.62	0.060	0.05	0.064	"
	" 116	1.95	0.061	—	—	"
	" 129	2.39	0.154	—	—	黒鉛増濁=7熔製
	" 131-A	4.55	0.132	—	—	"
	" 131-B	4.23	0.098	—	—	"
	" 131-C	3.67	0.091	—	—	"
	" 138	1.73	9.258	—	—	"
	" 139	1.69	11.390	—	—	"
	" 151	3.59	3.196	—	—	"
	" 152	3.22	4.425	—	—	"
" 153	3.34	3.340	—	—	"	

通りの成分に爲り難いので硅素の稍高い中間合成鐵なるものを數種作り其炭素及硅素を分析した上之等を硅素の低いものと正確に計算調合して望む通りの炭素及硅素の鑄鐵を作り得た。又炭素量が3.14%より高い合成鐵は雲伯銑に純粹の黒鉛を過量に加へ熔解して作つたものである。此の如くして炭素

が大體 2.1%、2.5%、2.8%、3.2%及3.6%なる 5種類に分れ其各々に硅素が少量より順次増加して居る様な試料を合成し得た。

ろ、冷却速度の試験

各試料は其一定量を秤つてタンマン式坩堝に入れ高温計を挿入して大型のクリプトル電氣爐で熔解する。其間酸化を防ぐ爲黒鉛の割り蓋を以てパイロガロールで洗滌した窒素を通じ。温度が1400°C以上に達し充分鐵が熔解した後1200°Cになる迄爐内で温度を下らしめ、常に此温度から前述の様に坩堝共に水銀或は砂の中に投入する。同時にルシヤテリエ式高温計で5秒毎に温度を読み所謂熱分析を行ひ其結果から第3圖第4圖に例示する様な曲線を作り冷却時間 $t$ 及凝固後の最大速度 $\frac{\Delta T}{\Delta Z}$ を求めた。然る後出來た鑄鐵の試料の破面を検べ全く鼠色であるか白鉄であるか或は半白であるか等を見る。第4表から第8表迄は此試験結果の記録である。若し試料の大きい場合には内外の冷却度が異なる爲外側が白鉄で内側が鼠色になり易いが 50 瓦以下をとつた之等の試料では殆ど其差異が無かつた。

第 四 表  
冷却試験其一、炭素 2.1% 附近

番 號	炭 素	硅 素		冷 却 方 法								
				水	水銀 10g	水銀 25g	水銀 50g	冷砂	熱砂	温度	熱砂	温度
143-B	2.20	1.57	a						4.35	4.06	6.60	6.37
			b						2.0		0.805	
			c						☺		○	
144	2.15	1.89	a						4.25	4.00		
			b						2.04			
			c						●			
145	2.09	2.56	a				42.5	205	315	90	385	385
			b				11.93	3.29	2.04		1.97	
			c				○	○	●		●	
146	2.01	2.95	a				35	160	4.40	4.28		
			b				11.32	3.14	1.76			
			c				☺	☺	●			
147-B	2.13	3.15	a			27.5	40		4.65	4.57		
			b			15.2	12.3		1.58			
			c			☺	●		●			
○ 149	2.16	3.47	a		22.5		47.5		4.00	3.70		
			b		15.7		10.67		1.74			
			c		○		●		●		○	

- a : ユーテクトイック温度開始よりユーテクトイド温度終結迄冷却に要した時間(秒)
- b : 凝固後の最大冷却速度 ( $\Delta T/\Delta Z$ )
- c : 破 面

## 第 五 表

冷却試験其二、炭素 2.5% 附近

番 號	炭 素	硅 素		冷 却 方 法						
				水	水銀 10%	水銀 25%	水銀 50%	冷砂	熱砂	温度
174	2.72	1.38	a					250	670	450
			b					3.0	1.35	
			c					☺	●	
173	2.52	2.07	a			45	60	220		
			b			9.6	70	3.15		
			c			○	●	●		
176	2.51	2.31	a		35	48	58		410	430
			b		10.77	10.80	6.92		1.90	
			c		●	●	●		●	
171	2.53	2.49	a			30	53		500	370
			b			16.5	11.13		1.75	
			c			●	●		●	
170-A	2.40	2.95	a			33	70			
			b			13.5	6.66			
			c			●	●			
175	2.53	3.49	a			33	50	235		
			b			14.8	11.9	3.14		
			c			●	●	●		

a : ユーテクトイック温度開始よりユーテクトイド温度終結迄冷却に要した時間(秒)

b : 凝固後の最大冷却速度 ( $\Delta T/\Delta Z$ )

c : 破 面



第 六 表  
冷却試験其三、炭素 2.8% 附近

番 號	炭 素	硅 素		冷 却 方 法								
				水	水銀 10g	水銀 25g	水銀 50g	冷砂	熱砂 温度	熱砂 温度		
121	2.86	0.35	a						755	550	785	598
			b						1.25		1.05	
			c						○		○	
113-B	2.76	0.42	a						820	625		
			b						1.26			
			c						●			
120	2.76	0.56	a						500	390	700	595
			b						1.90		1.36	
			c						☺		●	
114-B	2.66	1.02	a						465	392		
			b						2.04			
			c						●			
114-C	2.70	1.06	a						450	190	685	395
			b						2.16		1.37	
			c						●		●	
122	2.86	1.33	a				52.5	220	440	105	485	388
			b				10.07	3.35	1.92		1.95	
			c				☺	☺	●		●	
118	2.83	1.41	a				55	218	480	165	605	410
			b				11	3.30	1.91		1.67	
			c				☺	☺	●		●	
123	2.83	1.72	a			32.5	57.5		545	434		
			b			15.1	11.07		1.70			
			c			☺	●		●			
119	2.74	2.09	a		30	35	60		585	395		
			b		16.3	14.4	9.67		1.66			
			c		●	●	●		●			
124	2.90	2.44	a	27.5			47.5		500	326		
			b	17.6			11.04		1.80			
			c	●			●		●			
125	2.85	2.99	a				60		460	387		
			b				10.70		1.91			
			c				●		●			
126	2.94	3.46	a				52.5		425	350		
			b				10.24		1.91			
			c				●		●			

a : ユーテクトイック温度開始よりユーテクトイド温度終結迄冷却に要した時間(秒)  
 b : 凝固後の最大冷却速度 (dT/dZ)  
 c : 破 面

第七表  
冷却試験其四、炭素 3.2% 附近

番 號	炭 素	矽 素		冷 却 方 法								
				水	水銀 10%	水銀 25%	水銀 50%	冷砂	熱砂	溫度	熱砂	溫度
163	3.21	0.74	a				59	205	380	250	435	362
			b				9.50	3.40	2.29		2.10	
			c				○	☺	●		●	
164	3.32	0.87	a				60	255	370	165	510	350
			b				9.05	3.06	2.50		1.70	
			c				○	☺	●		●	
165	3.22	1.15	a				65	235	395	410		
			b				10.0	3.3	2.13			
			c				●	●	●			
167	3.16	1.20	a			30	54	275				
			b			17.10	11.10	3.23				
			c			☺	●	●				
166	3.24	1.29	a			35	55	255				
			b			15.40	10.07	3.3				
			c			☺	●	●				
168	3.13	1.72	a		32.5	37.5	60		440	450		
			b		13.5	14.13	10.80		2.04			
			c		●	●	●		●			
169	3.04	2.13	a	36		35	50		453	420		
			b	16.1		15.6	10.6		1.98			
			c	●		●	●		●			

a : ユーテクトイック溫度開始よりユーテクトイド溫度終結迄冷却に要した時間(秒)

b : 凝固後の最大冷却速後 ( $dT/dZ$ )

c : 破 面

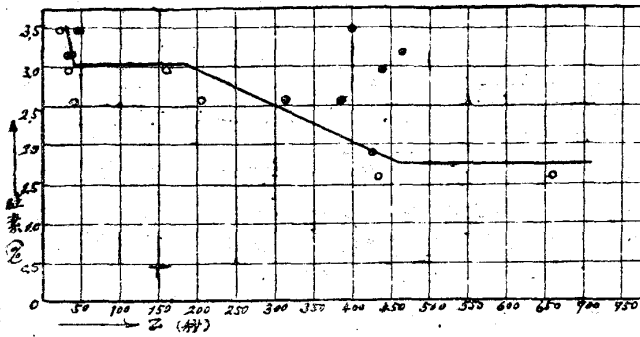
第 八 表  
冷却試験其五、炭素 3.6% 附近

番 號	炭 素	硅 素		冷 却 方 法										
				水	水銀 10%	水銀 25%	水銀 50%	冷砂	熱砂	温度	熱砂	温度	熱砂	温度
178	3.70	0.24	a							680	435			
			b							1.37				
			c							☺				
154	4.04	0.51	a					225	460		535	410	605	495
			b					2.73	2.00		2.04		1.47	
			c					☺	●		●		●	
161	3.58	0.88	a				63	235	645	395				
			b				9.67	3.40	1.36					
			c				○	●	●					
155-B	3.71	1.04	a		33	38	60		500	310				
			b		17.0	16.5	10.33		1.80					
			c		●	●	●		●					
177	3.58	1.39	a		28	30	45							
			b		18.6	18.0	12.5							
			c		●	●	●							
156	3.50	1.65	a			38	65							
			b			16.5	11.2							
			c			●	●							
157	3.62	1.86	a	30			70		600	400				
			b	17.0			11.12		1.94					
			c	●			●		●					
159	3.52	2.58	a				575		535	457				
			b				9.70		1.67					
			c				●		●					
158	3.84	2.97	a				105		590	475				
			b				5.95		1.43					
			c				●		●					
160	3.04	4.88	a				43		395	432				
			b				9.73		1.63					
			c				●		●					

- a : ユーテクトイック温度開始よりユーテクトイド温度終結迄冷却に要した時間(秒)
- b : 凝固後の最大冷却速度( $\Delta T/\Delta Z$ )
- c : 破 面

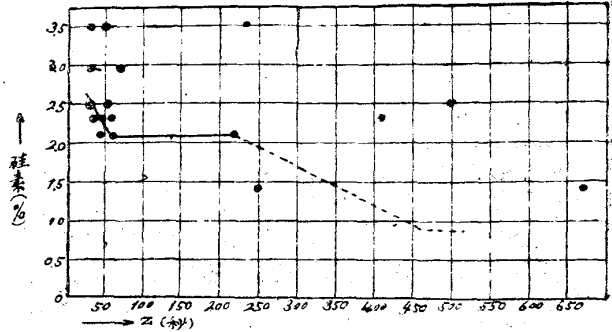
第五圖

炭素 2.1% 系の黒鉛化圖



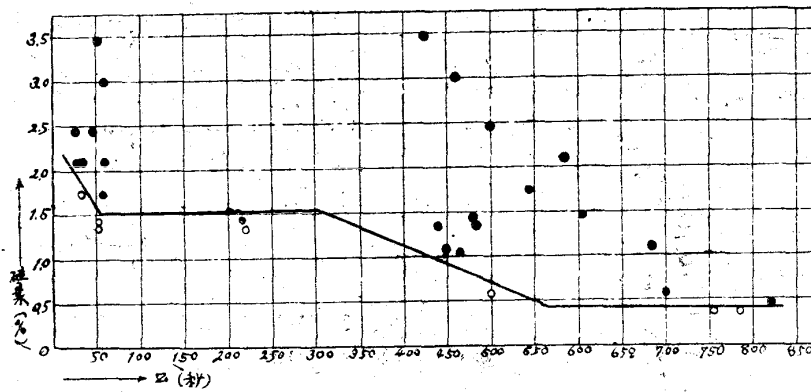
第六圖

炭素 2.5% 系の黒鉛化圖



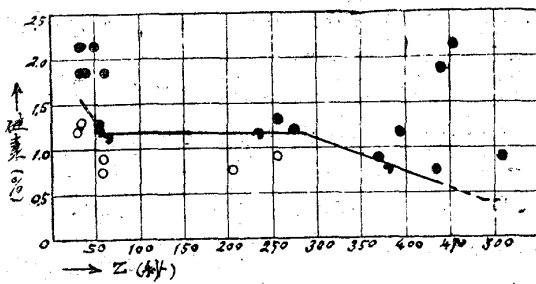
第七圖

炭素 2.8% 系黒鉛化圖



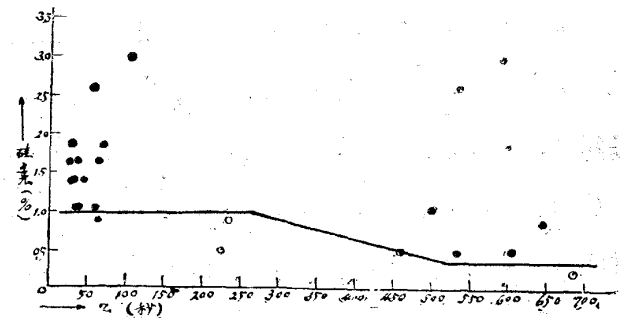
第八圖

炭素 3.2% 系の黒鉛化圖



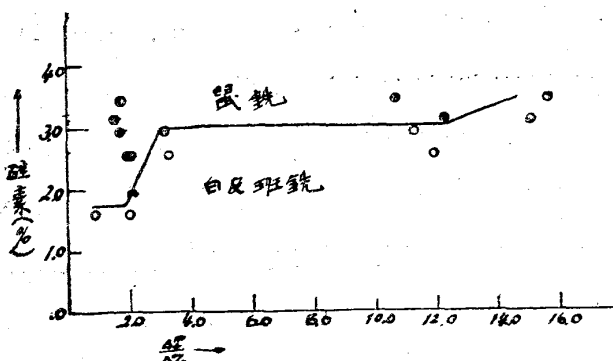
第九圖

炭素 3.6% 系の黒鉛化圖



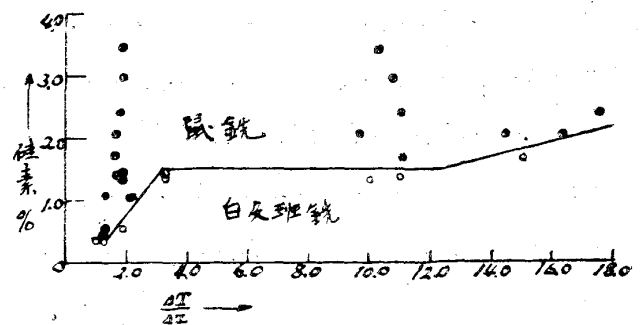
第十圖

炭素 2.1% 系の黒鉛化圖

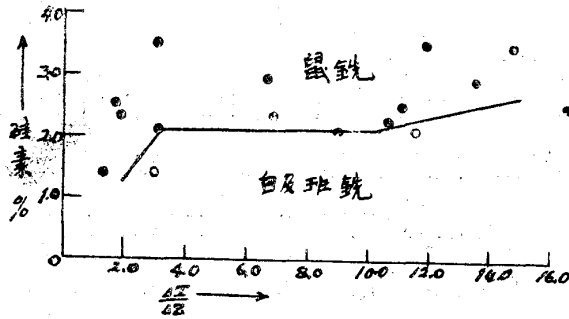


第十一圖

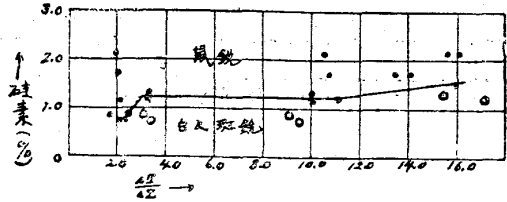
炭素 2.5% 系の黒鉛化圖



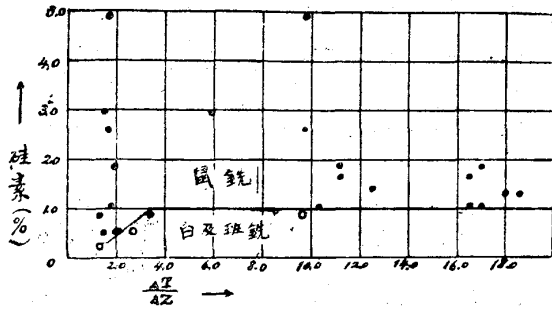
第十二圖  
炭素 2.8% 系の黒鉛化圖



第十三圖  
炭素 3.2% 系の黒鉛化圖



第十四圖  
炭素 3.6% 系の黒鉛化圖



### V 冷却試験の結果

此冷却試験結果第4表乃至第8表から第5圖乃至第14圖に示す様な冷却速度に関する各炭素系の黒鉛化ダイヤグラムを作る事が出来る此内第5圖から第9圖迄の物は横軸にユークテイック凝固の開始点よりユークトイド温度終結迄冷却するに要した秒數Z、縦軸には硅素の%をとり破面白色の場合には白丸、斑白の時は白黒混合、完全に鼠色破面の物は黒丸を書入れた物である、此黒丸に移る境界線を引くと各圖に示す様に其線の上方は鼠鑄鐵下方は白鉄又は之に近い鉄であると云ふ分野が出来る。此線を余は今グレーラインと稱して置く、又第10圖から第15圖迄は横軸に凝固後の最大速度  $\frac{dT}{dt}$  縦軸に硅素の%をとり同様に作つたダイヤグラムである此圖が出来上ると或炭素量の鑄鐵でどれだけの硅素があれば如何程の冷却時間又は冷却速度を與へると鼠鑄鐵になり得るかが一目して判るし又グレーラインの形から次の様な諸事實を観察する事が出来る。

(1) 冷却の可なり大きい部分ではグレーラインが水平に近い即ち或炭素量の鑄鐵に對して臨界的の硅素量があつて硅素が此以上あれば黒鉛化が大速度を以て進行するが其以下では急に遅くなる事が示されて居る。

(2) 次にグレーラインが傾斜して居る部分が有る。即ち上述の限界以下の硅素のものは急冷すれば白鉄になり易いが稍冷却速度を緩くすると容易に完全な鼠鑄鐵となる。而して以下硅素を減ずるに従ひ冷却速度を少しづつ遅くすれば矢張完全に鼠鑄鐵になり得る事を示してゐる。

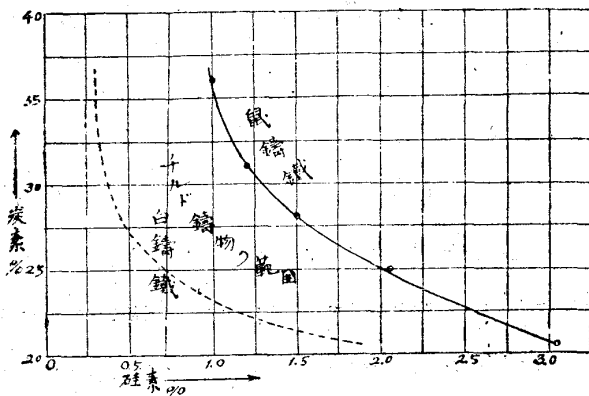
(3) 更に硅素が減じて或量に達するとグレーラインが再び水平に近くなり其以下では黒鉛化が非常に困難になつて居る事が分る。此關係は横軸に Z をとつた第5圖から第9圖に至るダイヤグラムの方がよく示して居る。余の實驗では Z が 800 秒邊迄しか行つて居ないが此範圍では未だ黒鉛化して居ない。

(4) 臨界硅素量以上の鑄鐵でも非常に烈しい冷却を施すと白鉄又は斑白になり得る。圖でグレーラ

インが水平線から左方に向つて傾斜して上つて居るのは之を示す。然し乍ら炭素の高い種類のものになると此くして白鉄を得る事が非常に難しい。

之等の結果は次の様な鑄造工業の諸問題に應用が出来るものである。

第十五圖 鼠鑄鐵と白鑄鐵の範圍



第一に之に依り炭素と硅素がどれだけあれば安全に鼠鑄鐵を作り得るかと云ふ事が明瞭に分る。今縦軸に炭素の%横軸に硅素の%をとり先きの5種の炭素系につき知り得た臨界硅素量を連結すれば第15圖の様な曲線が出来る鑄鐵の成分が此曲線の外側乃ち上方にあれば黒鉛化が大速度で進行するから之を以て安全に鼠鑄鐵が得られる。即ち之を鼠鑄鐵の範圍と云ふ事が出来る。

此内側では冷却速度の如何により鼠色破面も出来るが少しく冷え方の速い部分があると白鉄になり易いから之を白鉄の範圍と考へてよろしい。

次に鑄鐵中の硅素は其炭素量に對しては丁度遊離セメントイトをよく黒鉛化し得る量だけあればよい、其以上は不必要でかへつて過量の黒鉛を析出し又は大片の黒鉛を發生せしめて鐵を脆弱にするから此範圍内で成るべく少い方がよい。そこで第15圖の曲線に接近した外側の部分は安全に鼠鑄鐵で且つ強い鑄物を作り得る事が豫想される。又第5圖から第14圖のダイヤグラムに依ると作るべき鑄物の冷却速度が大凡そ判れば臨界硅素量以下の低い硅素量を撰ぶ事が出来るから其炭素量に對し一番強い鑄鐵の成分を豫想する事が出来る。

次に又ロールや車輪等に用ゐられるチルドキヤスティングと云ふのは表面の金型に當つた部分が白鉄となつて堅く内部の冷却の遅い所はよく黒鉛化して軟くて脆くないと云ふ様な鑄物であるが、其成分は丁度黒鉛化ダイヤグラムのグレーラインが傾斜して居る所に相當する事が判る。硅素が此以外になるとグレーラインの水平に近くなる部分となり内部迄白鉄化し脆い鑄物となる。余の實驗で此境界點が3種の炭素系で略々判つて居るから之により第16圖の點線で示す様な曲線を書き入れると此2曲線の中間の部分がチルド鑄物の範圍となる。今日チルドロールの製造は非常に難しい仕事となつて居るが此様なダイヤグラムから出發して適當の成分を撰び其性質を研究して行くべきであると思ふ。

尙余は此チルド鑄物の範圍内にある鑄鐵は將來大いに利用の途が開けるのでは無いかと考へる現に歐洲で Pearlitic Cast Iron と稱して或適當成分の鑄鐵を熱い鑄型に鑄る事により随分強い鑄物を作る事が行はれて居る其強力の原因としては地鐵が全部パーライトになつて居るからと説明され雑誌に顯微鏡寫眞も出て居るが余は其強力なる原因が寧ろ黒鉛の多少や形狀に依る方が大きいかと考へるのである。今チルド鑄物の範圍に相當する鐵を熱い砂型に鑄込むと丁度黒鉛化圖中グレーラインの傾斜した部分の外側に接近した事になり遊離セメントイトの黒鉛化に必要な最小限度の硅素を含むから黒

鉛の大片の發達が阻止せられ且つパーライトが分解せずに残る。従つて高級の鑄物が出来る事になる。尙之に就て第4圖の冷却曲線を觀察すると冷たい鑄型と熱い鑄型の冷却速度がユーテクトイック附近では大差が無いが比較的低温度で熱鑄型の方が緩かになつて居る。そこで熱鑄型に依ると最初の間は冷鑄型と大差がなく相當の速さで冷えて黒鉛の大きな發達を許さないが最早や鐵の流動性が少くなり大片の黒鉛が出来難くなつた温度で大いに冷却を緩めて黒鉛化を促す事になるので冷たい鑄型に比し一層有利な條件を與へる事が知られる。

## VI 顯 微 鏡 的 觀 察

各種速度で冷却した試料を顯微鏡で見ると色々面白い事實を觀察する事が出来る前節に述べた様に或炭素に對し臨界量以上の硅素を含む場合には急冷しても鼠鑄鐵になるが其組織は寫眞第1, 第5, 第7, 第9 に示される様なものとなり、其廓大したものは寫眞第13の如きものである。これは微細な黒鉛の集合したもので所謂グラフアイトユーテクトイックなる組織である。最近ドイツの Emil Schütz 氏は或成分の鑄鐵を金型に注ぐとかゝる組織が出る事を報告して居るが如何なる條件の下に之が出来るかは充分に説明して居ない。

余の實驗に依るとどの炭素量でも硅素が臨界量以上のものならば或程度以上の急冷を施すと此組織が出来る事が判つた、而して冷却速度が其よりも緩くなるに従ひ漸次大片の黒鉛となつて居る、寫眞第2, 第3, 第4, 第6, 第8 等は其れである、又此ユーテクトイック狀の黒鉛と片狀黒鉛との間には判然たる區別があるのでは無くユーテクトイック様のものが漸次に連続して大きな形のものになるのであつて即ち寫眞第5 第10の如きは同一の試料中で其變移する處が見える、之を以て考ふれば片狀黒鉛は畢竟微細なる黒鉛粒の凝集連続により生じたものであると云ふ事が出来る。

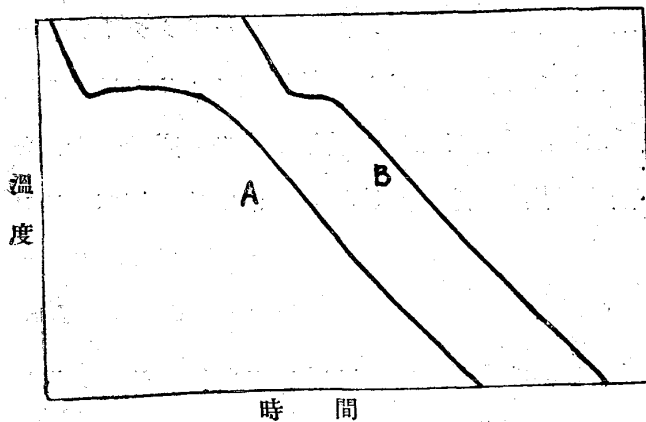
鑄物に於て此微細な黒鉛組織を得れば強さに於て理想的であるが之が爲には急冷をする必要があり製作上の困難を伴ふ。そして實際問題としては面倒な急冷法に依らずとも此のユーテクトイック狀黒鉛の凝集發達を出来るだけ少くする方法を工夫すれば通常の鑄物より餘程強いものが造り得られる。

此實驗により冷却の遅い場合でも比較的ユーテクトイック狀の黒鉛を保存し易い成分は炭素 2.8% 以下の系統に多い事が分つた。炭素 3.2% 系では稍其傾向が多くなつて來て居るが炭素 3.6% 系では餘程冷却を急激にしても大片の黒鉛となる。

石川博士は鑄物に菊目組織と稱する彎曲して黒鉛の現はれたものは強力であつて其組織を得るには炭素、3.2% 硅素、1.7% 附近がよいと發表せられ濱住博士は更に其成因につき詳論して其發生は成分のみならず冷却速度にも關係するもので丁度生砂型の冷却速度で此組織の出來易いのは上記の成分の鉄である事を述べられた。余の實驗に依れば此組織はかのユーテクトイック狀黒鉛の凝集により出來た一階梯と見做す事が出来る。従つて其組織を得るには硅素が臨界量以上にあると云ふ事とユーテク

(7) E. Schütz St. u. E. 45. Jahrg. (1925.) S 144

第十六圖



なり大きな片状に凝集する暇が少くたとひ黒鉛片の連続があつても其れが多く凝固後に行はれる爲彎曲して板状にならない、又炭素の高い鑄鐵でも冷却を速くすればユーテクトイツクの凝固時間が短くてB曲線の様になるから彎曲した菊目黒鉛が出来る事が知られる、更に余の實驗に依れば硅素が臨界量以上でしかも餘り高く無い時はもつと炭素を下げる事により菊目の一層進んだ所謂ユーテクトイツク状黒鉛となり大いに強力な鑄物が出来得る事が示された。尙黒鉛片の大きさは硅素量にも依るもので次の兩試料は同じ位の緩冷却を受けたものであるが寫眞12の方は炭素が高く 3.70% で硅素が臨界量以下ずつと低い白鉄の一部は現はれた微細黒鉛を示し寫眞4の方は炭素 3.04% であるが硅素が非常に高い爲に大片の黒鉛が生じたものを示す。

次に注意すべき事は炭素が低くなるとオーステナイトのグレーンに及ぼす硅素の影響が増す事で寫眞第1第3第9等は段々炭素の減すると反對にグレーンが大きくなる事を示して居る。

寫眞、第14から第18迄は總べて 2%硝酸で腐蝕して寫したものである。前記の Schüz 氏はグラフアイトユーテクトイツクをば黒鉛とフェライトとの共融である様に言つて居るが之は誤りで黒鉛とオーステナイトの共融である。(黒鉛が二次的に出来たものと考ふれば此語は不適當かも知れぬが) 其組織は孰れも寫眞第16の様にパーライト中に微細黒鉛が介在して居るものでフェライトが見えない、遊離フェライトの出るのは炭素及硅素が相當に高く冷却速度の遅い場合である寫眞第18は熱い砂型中で冷えた炭素3.52% 硅素2.58% の試料で其一例を示す。又炭素が高くとも硅素が低いものにはフェライトが出来難いもので即ち寫眞第17は炭素3.71% 硅素が臨界量に近い1.04% なる試料であるが熱い砂型中に冷却しても地鐵が全部パーライトになつて居る、余の實驗に用ゐた様な小さい試料では地鐵パーライトである場合が多かつたが普通工場で作る様な大型鑄物ではユーテクトイド温度邊りの冷却時間が非常に長い結果パーライトセメンタイトの黒鉛化が起り硅素が臨界量附近或は其以下でないといふ完全なパーリテイツクの地鐵を保存する事が困難であらうと考へられる。

先に余は第二章に於て黒鉛はセメンタイトの分解により二次的に發生するといふ説を採り、又硅素の高い場合でも先づ不安定な複化合物が出来て之が迅速に分解して黒鉛を生ずる事を主張したがこゝに其れを證據立てる 2.3 の寫眞を掲げる。寫眞第11は炭素 2.01% 硅素2.95%(臨界量以下) なる試料を

テイツク温度附近の冷却が餘りに緩かたで無いと云ふ條件を満足すればよい。今炭素の高い鑄鐵を砂型に鑄込むと冷却曲線が第16圖Aの様な形となりユーテクトイツクの凝固する期間が長い。此様な半熔融状態では析出した微細黒鉛の移動凝集が活潑であるから分子力の方面に生長して板状の大きな黒鉛となる、然るに炭素が前記の 3.2% 以下になると冷却曲線がBの如く



水銀中に急冷し全く白鉄になつて居るものにレリーフポリッシュをして寫したもので複化合物より成る共融即ちレデブライトが硬い爲浮き上つて見え尙プライマリーオーステナイト組織冷却後はパーライトになつて居る内にも針狀の複化合物が見えて居る其中央のレデブライト中に黒い部分が6ヶ所程あるのが微細な黒鉛であつて、此複化合物の分解の端緒である又第14は炭素 2.16% 硅素、3.47% (臨界量以上) なる試料を水銀中に急冷したもので破面が鼠鑄鐵になつて居るものを腐蝕して見た寫眞で其組織は大部分かの微細な黒鉛のユーテクトイックとパーライトから出來て居るが所々に此圖の中央にある様な針狀組織が見える、之れは寫眞第11の複化合物と同様のもので未だ分解し終らずに黒鉛の間に残留して居るものである。此複化合物の尖端が一部分黒色の黒鉛に變化し尙針狀を保つて居る所があり又プライマリーオーステナイト組織中 (パーライト) の點々は粒狀セメントイトに相當するものであるが之が黒色の小粒に變つて居る所が見える事等は明かに此複化合物が黒鉛に變化する事を示したものである。高炭素高硅素の鑄鐵では余の行つた程度の冷却ではかゝる組織を得る事が出来なかつた、寫眞第15は炭素 2.86% 硅素 1.33% (臨界量以下) なる試料を水銀中に急冷して得た白鉄の中に少量の黒鉛が出て居る部分の寫眞であるが矢張セメントイトが黒鉛に變化しつゝある所が見える此セメントイト (嚴密に云へば複化合物) の形は寫眞第14の様に硅素の高いものに出て居るものと幾分異り普通の純鐵炭素系の白鉄に出るものによく似て居る。

第 九 表

炭素 3.6% 系各種鑄鐵の機械的性質

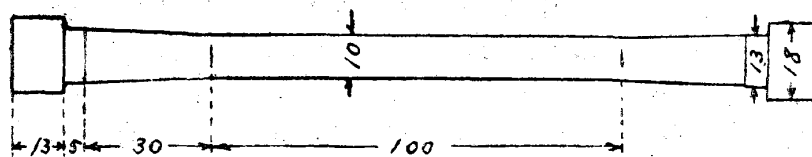
番号	炭素	硅素	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	ブリネル 硬度	摘 要	冷却の速さ	
							Z	$\frac{\Delta T}{\Delta Z}$
161	3.58	0.88	20.71	0.4	247	不良	350	1.87
155-D	3.71	1.04	16.81	0.4	203	不良	—	—
155-C	3.48	1.07	26.35	0.8	163	良	345	1.98
177	3.58	1.39	26.33	0.6	199	良	—	—
156	3.50	1.65	21.78	0.8	178	良	—	—
157	3.62	1.86	18.22	0.9	182	稍不良	310	2.15
159	3.52	2.58	18.39	0.8	166	良	2.95	2.52
158	3.84	2.97	17.24	0.8	156	良	2.80	2.50
160	3.04	4.88	16.91	1.0	171	良	—	—

第十表

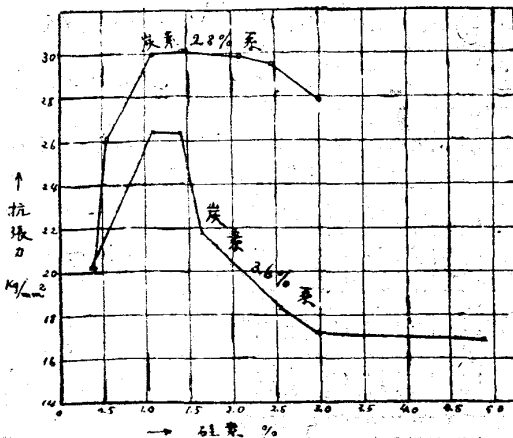
炭素2.8%系各種鑄鐵の機械的性質

番号	炭素	硅素	抗張力 Kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	ブリネル 硬度	摘要
113-8	2.76	0.42	2141	0.4	381	不良
120	2.76	0.56	2606	0.3	381	不良
114-C	2.70	1.07	2993	0.5	227	良
122	2.86	1.33	2450	0.4	336	不良
118	2.83	1.41	3023	0.4	232	良
123	2.83	1.72	2798	0.4	204	不良
119	2.74	2.09	2953	0.6	213	良
124	2.90	2.44	2908	0.7	206	良
125	2.85	2.99	2791	0.6	219	稍不良
126	2.94	3.46	2437	0.5	214	不良

第十七圖 試験片の方法 單位耗



第十八圖 硅素含有量と抗張力との關係



IIV 機械的試験

此實驗中炭素 2.1%、2.8%、3.6% 系の3種のもは1200瓦宛黒鉛坩堝で熔製し其一部分を以て第17圖の様な型に鑄て之を仕上げ抗張力の試験を行つた。又鑄込みの時試験片の頭と湯口との中間附近に高温計を挿入して熱曲線をとリ冷却の速さZ及  $\frac{\Delta T}{\Delta Z}$  を出した、其等機械的試験結果は第7表第8表に示す。此中炭素、2.1% 系のもは堅い鑄物が大部分で仕上げが難かしい

爲に満足な試験片を得られなかつた又鑄物の技術の不慣れの爲に不良の試験片が多かつたのは遺憾で

あつた之等は不良と記載して曲線の方には、省いた第7表及第9表から各炭素系のものにつき硅素の量と抗張力との關係を曲線に示したのが第18圖である、之等を見るに一番強い成分は第V章及顯微鏡組織で豫想した通り硅素がグレーラインに接近した所である事が明かに判る、所が此影響は炭素の多少に依り大いに異なるのであつて 3.6% 位の通常鑄物では Si の影響は非常に大きいが 2.8% 位の所謂セミスチールに近い低炭素の場合には硅素による抗張力の減少は甚だしくはない、之は顯微鏡組織で述べた様に炭素の少ない場合には硅素が相當あつても凝集し大片となる傾向が少い爲である。

之を要するに抗張力の強い鑄物を作る爲には

(1) 炭素が通常の鑄物に於ける様に高い場合には出来るだけ硅素を下げる事、其最低硅素量は余の實驗で求めた様なグレーラインで分ける。

(2) 炭素を 3.2% 以下殊に 2.8% 附近に下げると硅素が臨界量以上相當多くとも大いに強力な鑄物を得る事となる。

### VIII 結 論

1. 炭素、硅素以外の不純物の少い純鑄鐵に於て鼠鑄鐵を得べき硅素と冷却速度との關係をしらべグレーラインと稱する境界線を求め得た。

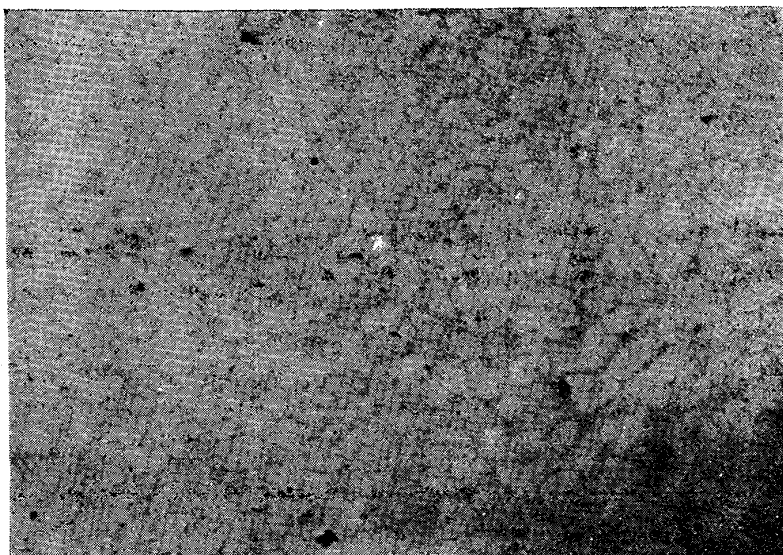
2. 或炭素量に對して其鑄鐵が容易く黒鉛化し得る硅素の臨界量がある。此以上の硅素を含めば假令急冷を施しても鼠鐵となる、かゝる組織には微細の黒鉛即ちユーテクトイツク黒鉛が現はれる事が多い。

3. 抗張力の強い鑄鐵は成るべく此臨界量に接近した硅素の時に出来る。

4. 炭素が 3.2% 以下の低い場合には微細な黒鉛や彎曲した菊目組織が出易いから硅素が相當多い場合でも炭素の高いものより遙かに強い鑄物を得る事が出来る。

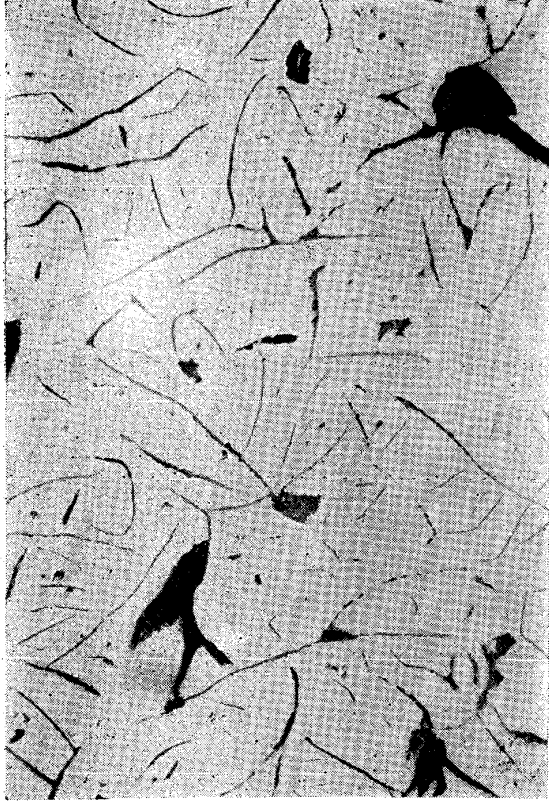
5. チルド鑄物は硅素が此臨界量以下でも而も餘り少量ならぬ程度のものに於て容易く出来る其範圍は炭素の低いもの程廣い。

寫眞 1 × 125  
 急冷  
 25 瓦を水銀中に  
 { C 3.71  
 Si 1.04

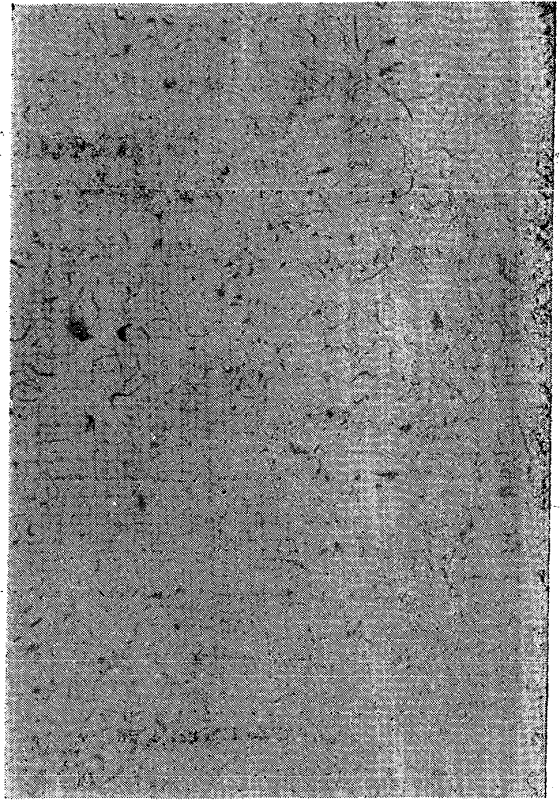


終りに當教室にて金子教授機械試験に於ては材料強弱學教室小野教授の御指導御配慮を忝ふせる事を感謝す (九州帝國大學工學部冶金學教室にて)

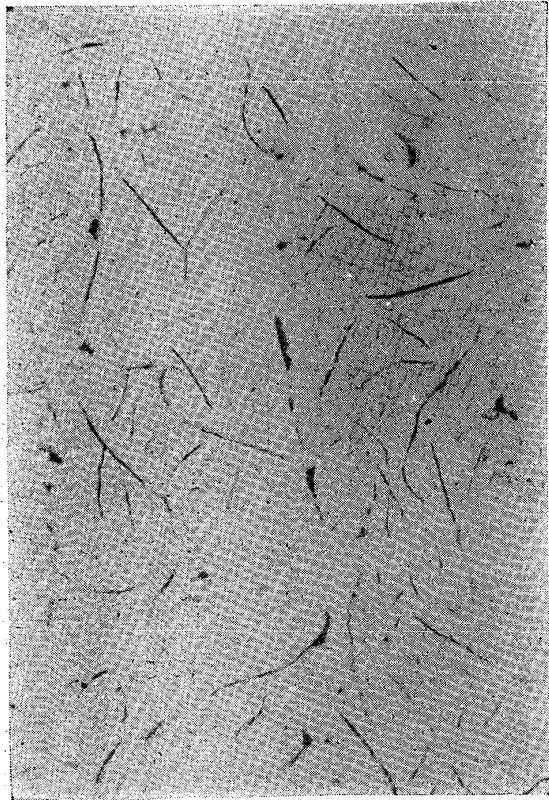
寫真 4 × 125  
 { C 3.04  
 { Si 4.88  
 50瓦を熱砂型(432°C)中に冷却



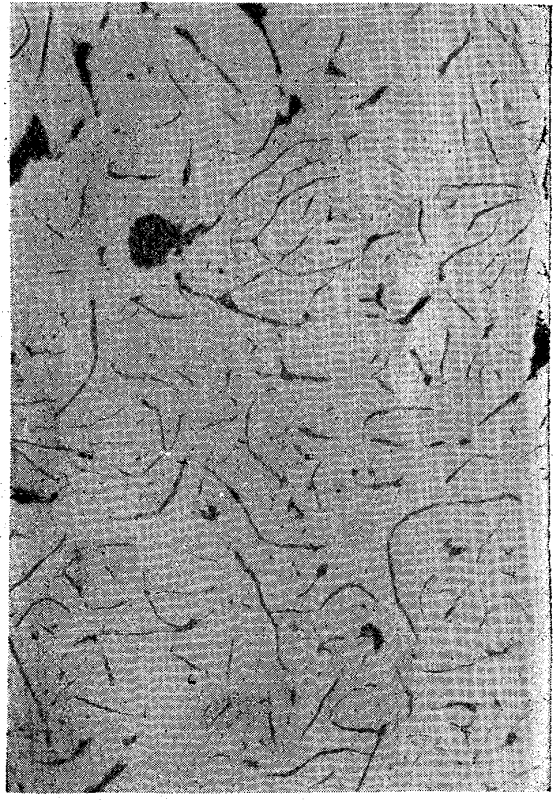
寫真 5 × 125  
 { C 2.94  
 { Si 3.46  
 50瓦を水銀中に急冷



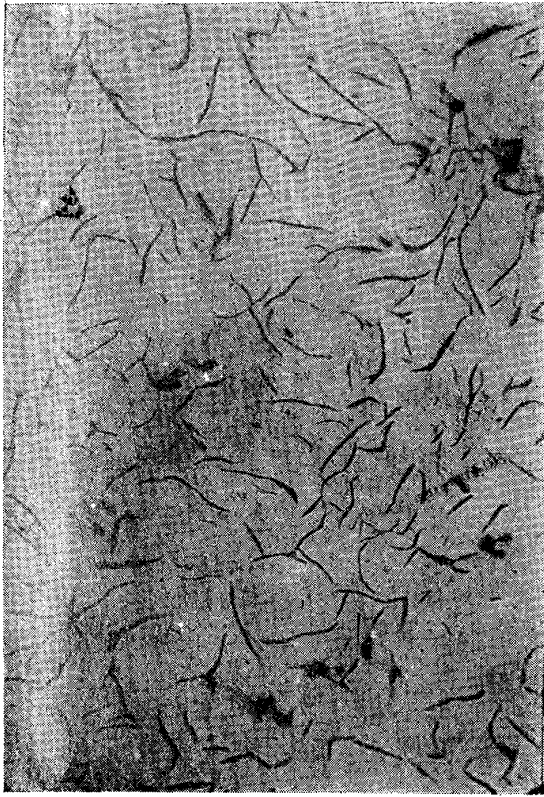
寫真 2 : × 125  
 { C 3.71  
 { Si 1.04  
 50瓦を熱砂型(310°C)中に冷却



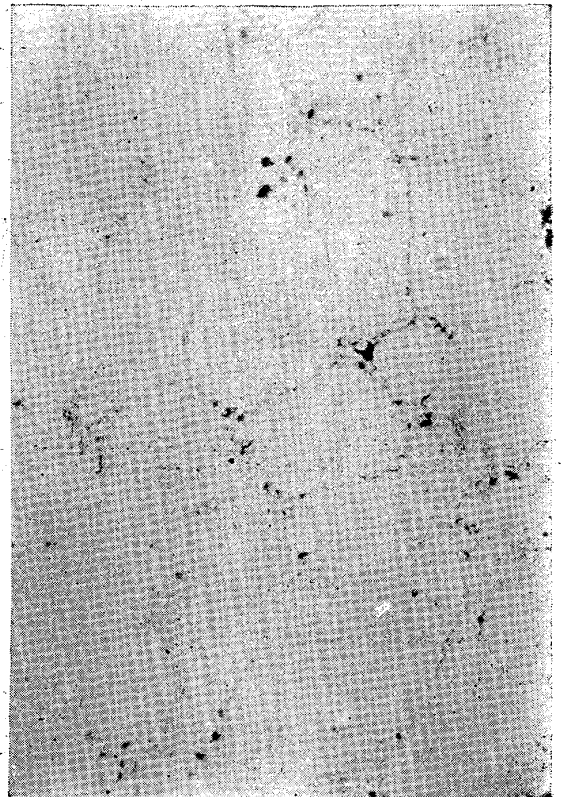
寫真 3 × 125  
 { C 3.84  
 { Si 2.97  
 50瓦を熱砂型(475°C)中に冷却



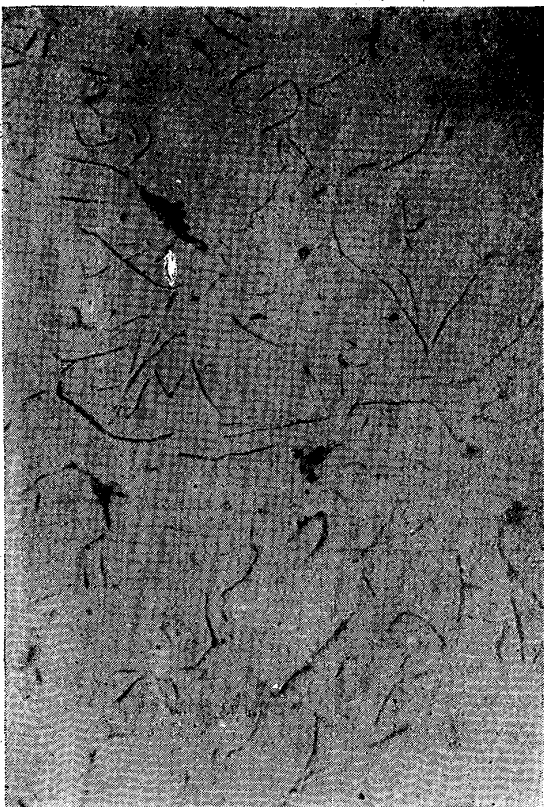
寫眞 8 × 125  
{ C 2.74  
Si 2.09 } 50瓦を熱砂型(395°C)中に冷却



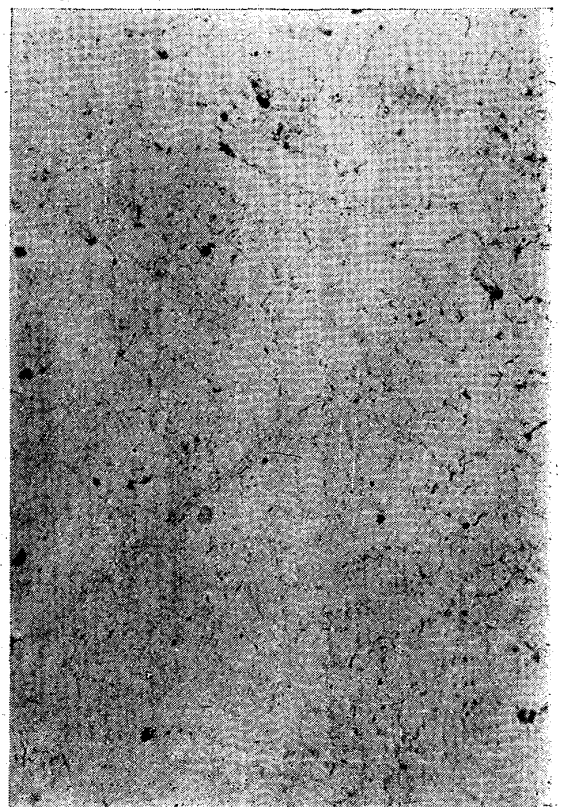
寫眞 9 × 125  
{ C 2.13  
Si 3.15 } 50瓦を水銀中に急冷



寫眞 6 × 125  
{ C 2.94  
Si 3.46 } 50瓦を熱砂型(350°C)中に急冷



寫眞 7 × 125  
{ C 2.74  
Si 2.09 } 25瓦を水銀中に冷却



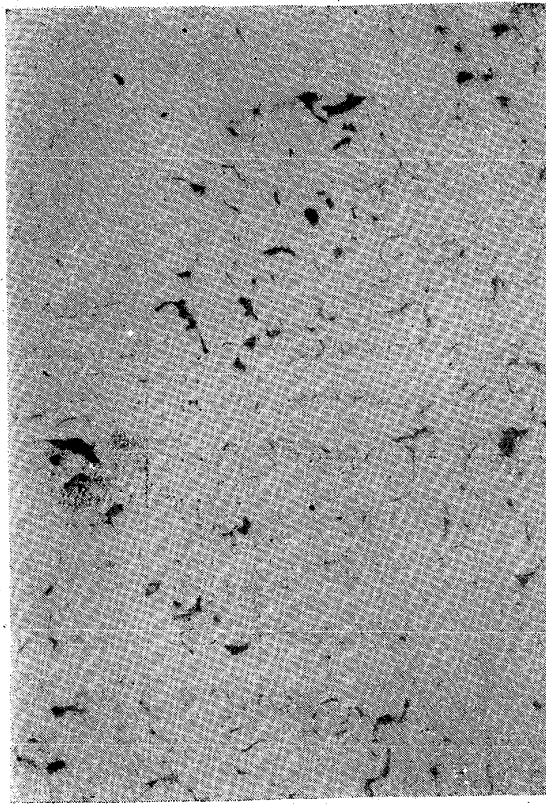
寫眞 10 × 125  
 { C 2.13 50瓦を熱砂型(457°C)中に冷却  
 { Si 3.15

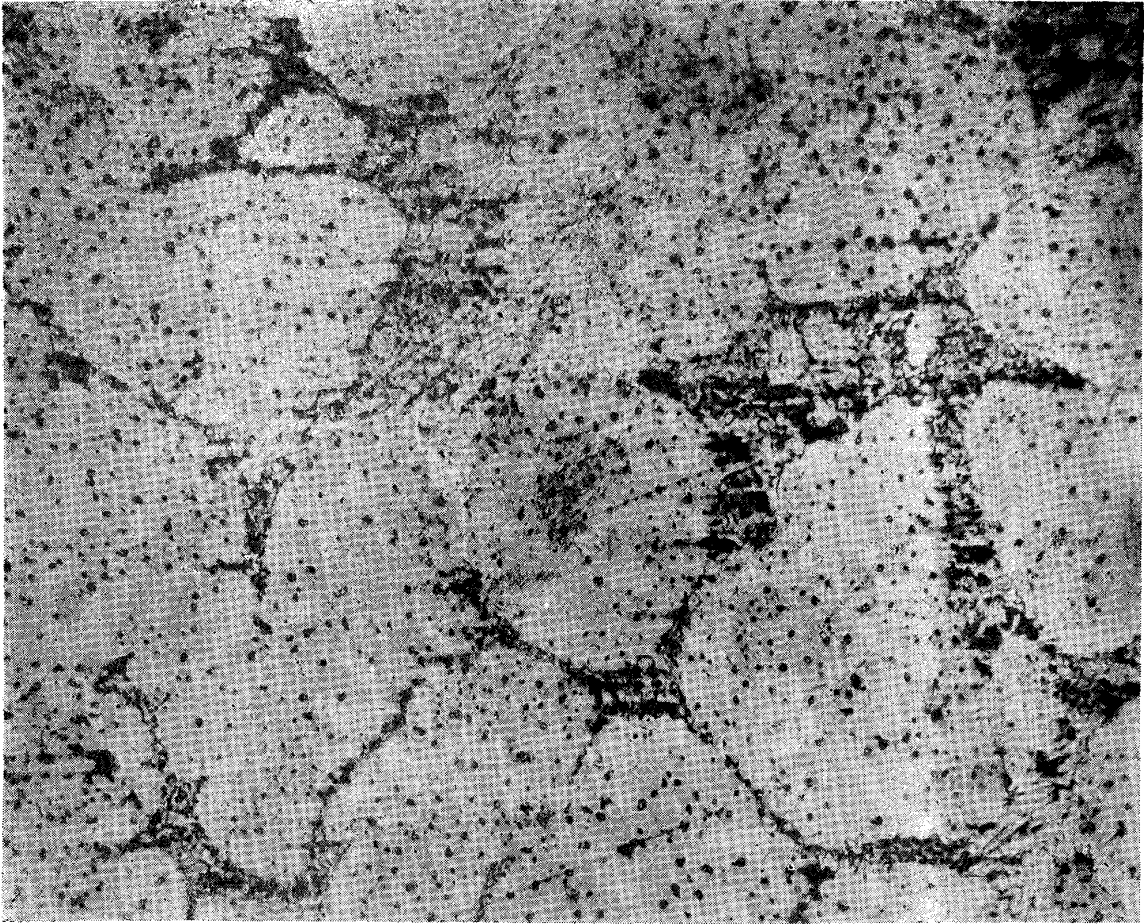


寫眞 11 × 125  
 { C 2.01 50瓦を水銀中に急冷  
 { Si 2.95

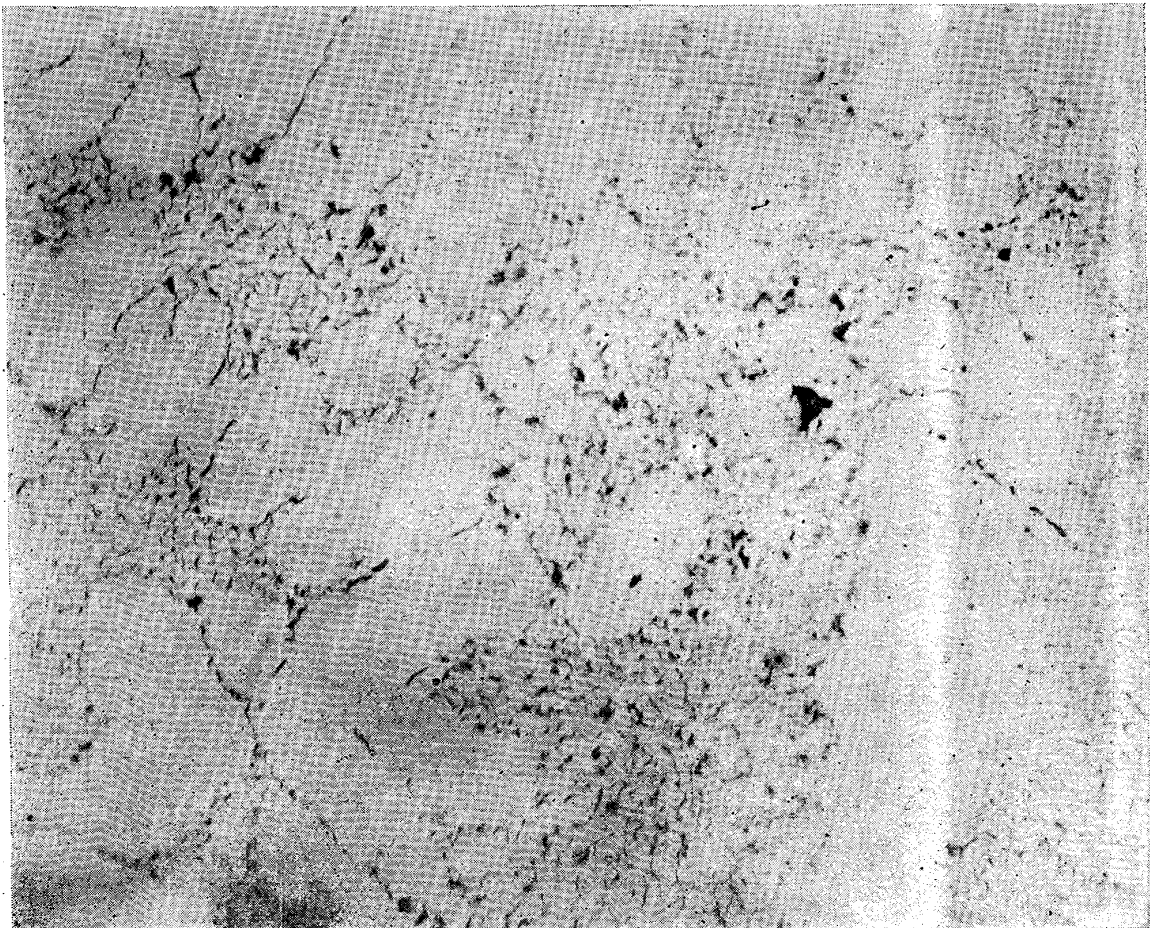


寫眞 12 × 125  
 { C 3.70 50瓦を熱砂型(435°C)中に冷却  
 { Si 0.24

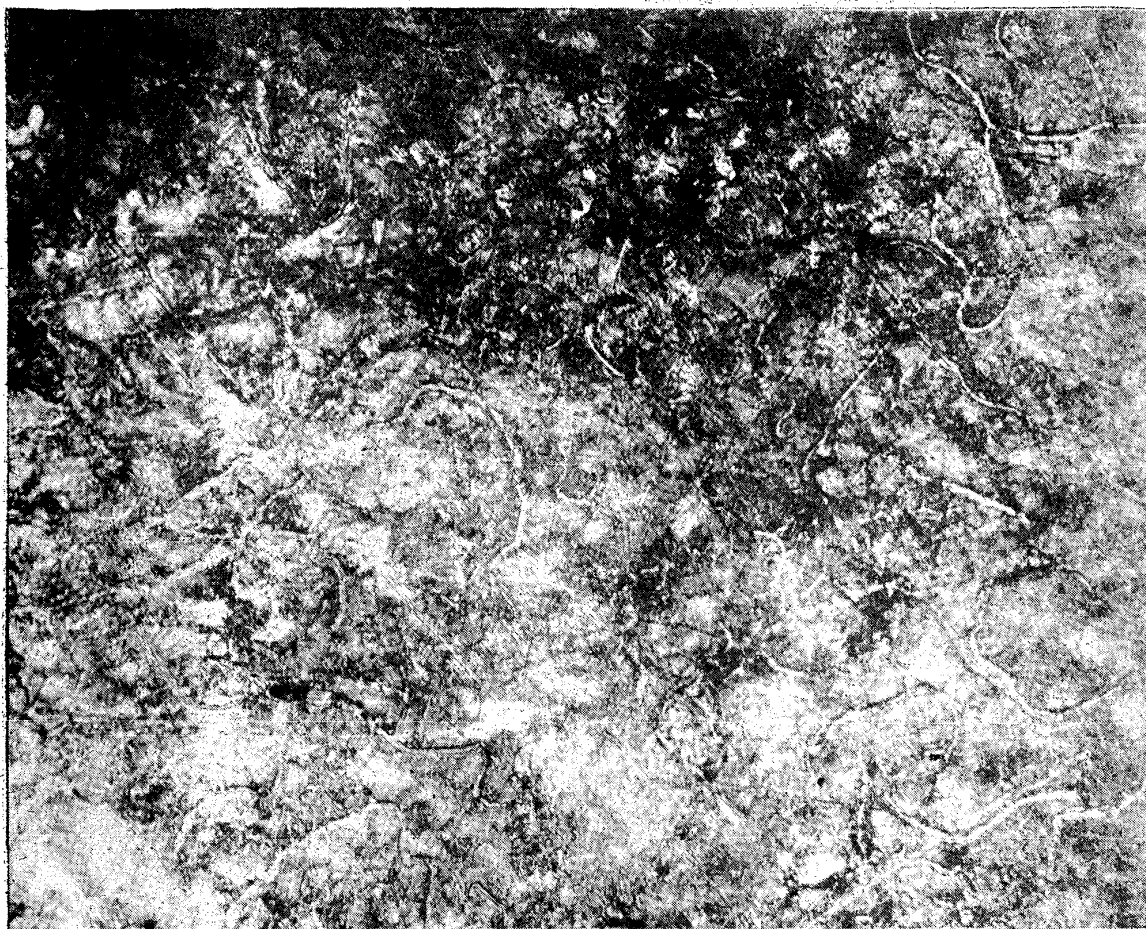




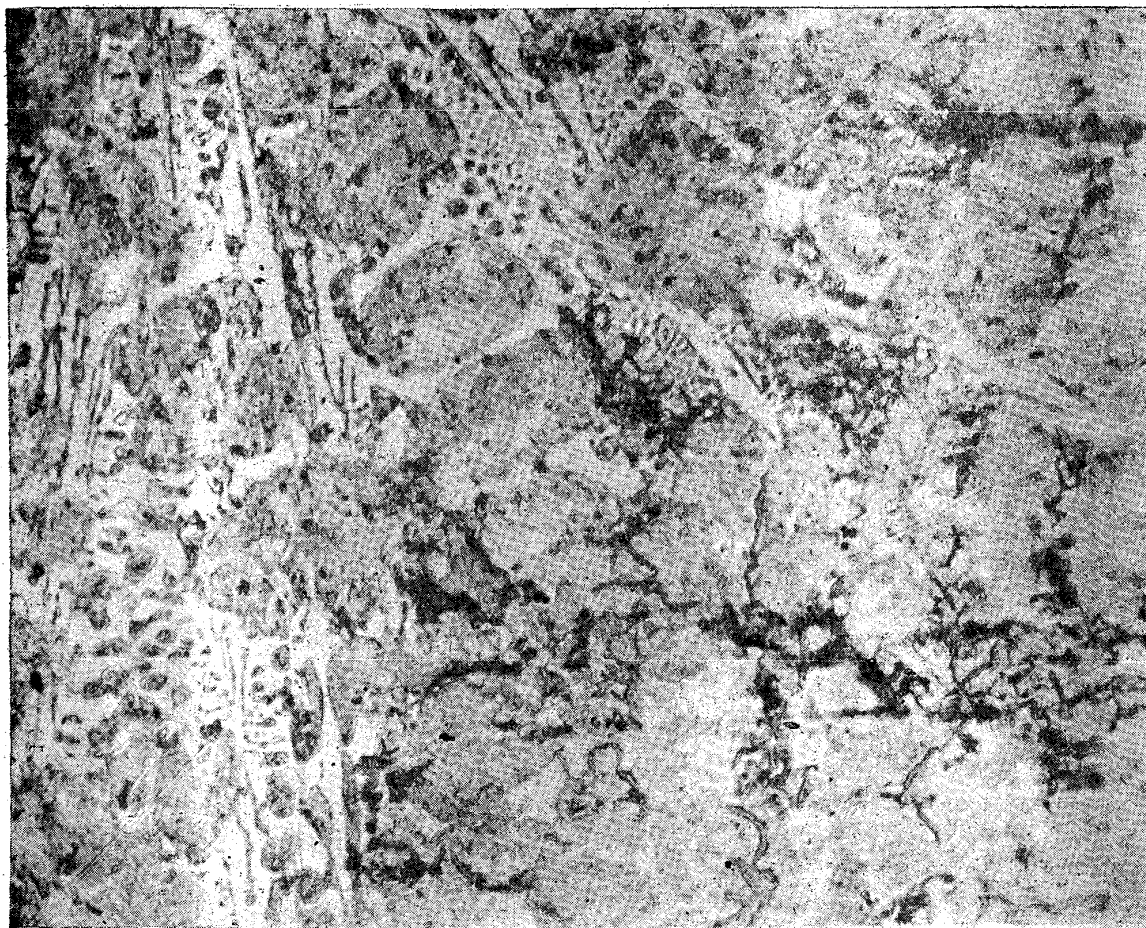
寫眞 14 { C 2.16 50 瓦を水銀中に急冷  
Si 3.47 } × 400 硝酸にて腐蝕



寫眞 13 { C 2.90 50 瓦を水銀中に急冷  
Si 2.44 } × 400 硝酸にて腐蝕



寫眞 16 { C 3.71 10 瓦を水銀中に急冷  
 × 400 硝酸にて腐蝕



寫眞 15 { C 2.86 50 瓦を水銀中に急冷  
 × 400 硝酸にて腐蝕





寫眞 18 { C 3.52 50 { Si 2.58 50 灰を熱砂型(457°C)中に冷却  
× 400 硝酸にて腐蝕



寫眞 17 { C 3.71 50 { Si 1.04 50 灰を熱砂型(310°C)中に冷却  
× 400 硝酸にて腐蝕