

アルミニウムを主成分とする アルミニウム—珪素—鐵合金系の研究

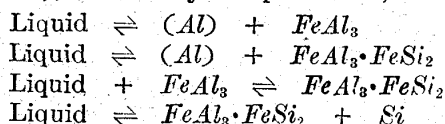
(日本鐵鋼協會 第8回講演大會講演)

西 村 秀 雄

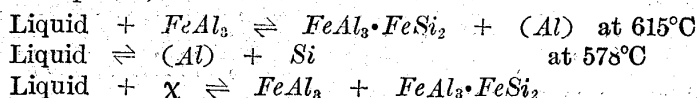
AN INVESTIGATION OF Al-RICH Al-Fe-Si ALLOYS.

Hideo Nishimura.

SYNOPSIS:—The constitution of the alloys of Al, Fe and Si from 0 to 30% of Si and from 0 to 30% of Fe has been investigated by the methods of thermal and micrographic analysis. Seven sectional diagrams whose iron contents are respectively 1.3%, 2%, 4%, 10%, 15%, 20%, 25% and 32% of Iron have been studied and from these sections an equilibrium diagram of this system in that domain has been determined. In this diagram there exist five primary crystallization surfaces of (Al), $FeAl_3$, $FeAl_3 \cdot FeSi_2$, and χ (an unknown phase), the binary complex lines,



and three invariant points,



Microscopically the ternary compound which has been called X, has been proved to be $FeAl_3 \cdot FeSi_2$.

現在製造せらるゝアルミニウムの最も純粹なるものとしては純度 99.9% 以上のものがある、然し工業的に用ひらるゝものは純度 99.6% 以下のものが普通にして其不純物としては各種の元素が含有せられて居ると思はるゝも主なるものが珪素と鐵である、されば工業的にアルミニウムの純度を示すに此珪素と鐵を除きたる殘分を以て示して居る、斯くアルミニウムとして用ひられて居るものには必ず珪素と鐵が含有せられて居るに拘らずアルミニウム—珪素—鐵系の平衡状態圖の信頼すべきものが未だ發表せられて居らないのである、多くの人々の研究が有るも斷片的か或は不完全なるものである、されば是等の元素がアルミニウムに如何なる形を以て含まれて來るが其平衡状態圖を

明かにすることはアルミニウム及び其合金を取扱ふ上に於て必要なる事と考へ本研究を行ひたるものである。

アルミニウム—鐵二元系

アルミニウム—鐵二元系の研究は Roberts-Austen¹⁾ 以來多くの人々に據りて研究せられ Gwyer²⁾, Kurnakow, Urasow 及び Grigoriew³⁾ を始め最近に於ては Gwyer 及び Phillips⁴⁾ と村上武次郎博士及び伊澤正宣氏⁵⁾ の發

¹⁾ Roberts-Austen: Proc. Inst. Mech. Eng., (1895)

²⁾ Gwyer: Z. anorg. Chem., 57 (1908) 126.

³⁾ Kurnakow, Urasow, Grigoriew:

同 上 125 (1922) 207.

⁴⁾ Gwyer, Phillips; J. Inst. Metals (1927)

⁵⁾ 村上武次郎、伊澤正宣; 金屬の研究

表がある、アルミニウム側の研究としてはRosenhain, Archbutt 及び Hanson¹⁾ が鐵 0—20% の間の研究を行ひ、アルミニウムと $FeAl_3$ の間に鐵 2% の所に共融點が存在するものとし、Dix²⁾ は其共融點を鐵 1.7% で 655°C に在るものとした、何れの研究に於てもアルミニウムは固態に於て鐵を全く溶解しないものとして居る、本研究の範圍に於ては別段疑問とする處なきを以て新しく此二元系の研究を行はずして主として Dix の研究に基き、鐵—アルミニウム二元系のアルミニウム側に於ては $FeAl_3$ なる化合物が存在し之がアルミニウムと鐵 1.7% に於て 655°C に共融點を造るものとして考へたのである。

アルミニウム—珪素二元系

アルミニウム—珪素二元系に就ては Fraenkel³⁾ の研究に始まり Rosenhain, Archbutt 及び Hanson⁴⁾, Edwards⁵⁾, 大谷文太郎博士⁶⁾, 久恒中陽⁷⁾ 等の發表がある、是等の人々の研究に據るとアルミニウムと珪素は化合物を造らず珪素 11.6% に於て 578°C に共融點を造るものであるとせられて居る、又アルミニウムに於ける珪素の固態溶解度は Gwyer 及び Phillips⁸⁾, 大谷文太郎博士⁹⁾, Köster 及び Müller¹⁰⁾, Dix 及び Heath¹¹⁾ 等により決定せられ次表の如き結

果が與へられて居る。

第 1 表

温度 (°C)	大谷	Gwyer	Köster	Dix
577		1.60	1.69	1.65
550	1.45	1.35	1.57	1.30
500		0.90	1.17	0.80
460	0.95			
450			0.83	0.48
400			0.50	0.29
350			0.25	0.17
300			0.10	0.10
200				0.05

是等の結果を総合して見るに本研究に於て必要な範圍に對しては殆ど研究し盡されて居ることが知られるので本研究に於ては是等の研究結果に基くことにし新しく此二元系の探究は行はなかつたのである。

鐵—珪素二元系

鐵—珪素系に就ては Guertler 及び Tamman¹⁾, Goutermann²⁾, Sanfourche³⁾, Bogdau⁴⁾, 村上武次郎博士⁵⁾, Kurnakoff 及び Urazoff⁶⁾ を始め其他多くの人々に據つて研究せられ、最近の發表としては Haughton 及び Becker⁷⁾ の研究がある、而して此二元系は殆ど完成せられたるものと考へられるのである、尤も本研究に於ては此二元系は直接必要がなかつたのであるが唯參考に供したるものにして、多くの研究者が珪素側に $FeSi_2$ なる化合物が出来ると云ふに對して Haughton 及び Becker は之を Fe_2Si_5 として居ることに注意したるに過ぎない。

1) Rosenhain, Archbutt, Hanson; Eleventh Report of Alloy Research Committee of Mechanical Engineers, (1921)

2) Dix; Proc. Am. Soc. Test. Mat.; 25 (1925) 120.

3) Frankel; Z. anorg. Chem., 53 (1908) 154.

4) Rosenhain, Archbutt, Hanson. 前掲。

5) Edwards; Chem. & Met. Eng., 28 (1923) 165.

6) 大谷文太郎; 金屬の研究 (1921) 212.

7) 久恒中陽; 水曜會誌

8) Gwyer, Phillips; J. Inst. Metals, 36 (1926) 233.

9) 大谷文太郎; 前掲。

10) Köster, Müller; Z. Metallkunde, 19 (1927) 52.

11) Dix, Heath; Am. Inst. Min. Met. Eng. Metal Division, (1928) 164.

1) Guertler, Tamman; Z. anorg. Chem. 47 (1905) 163.

2) Goutermann; 同上, 59 (1908) 384.

3) Sanfourche; Rev. Métallurgie, 16 (1919) 217.

4) Bogdau; Bulletin de la Société de Chimie de Roumaine, 1 (1919) 60.

5) 村上武次郎; Science Reports of Tohoku Imp. University, 10 (1921) 79, 16 (1927) 475.

6) Kurnakoff, Urazoff; Z. anorg. Chem. 123 (1922)

7) Haughton, Becker; J. Iron & Steel Inst. 121 (1930) 315.

アルミニウム—鐵—珪素三元系

アルミニウムを主成分とするアルミニウム—鐵—珪素系は最初 Merica, Waltenberg 及び Freemann¹⁾ が研究しアルミニウムに珪素と鐵が同時に含有せられて來ると其成分不明なるも三元化合物が現はれて來る事を知り之を X と稱した、又 Wills²⁾ は此化合物が支那文字の如き形狀をなし含まれることを特徴とすると發表し其後 Rosenhain, Archbutt 及び Hauson³⁾ は鐵 8% 珪素 8% の範圍に就て研究し其斷面平衡圖を與へた、又 Gwyer 及び Phillips⁴⁾ は鐵 30% 珪素 15% の範圍に就ての研究を發表したるが其發表せる所は平衡狀態圖にあらずして準平衡狀態圖とも稱すべきものを與へたのであるが其解釋に苦しむものがあるのである、又 Dix 及び Heath⁵⁾ は固態に於ける平衡狀態圖を決定する爲めに 560°C にて 1—5 週間加熱したる試片の顯微鏡組織の研究から α 及び β の二種の三元化合物の存在するものとし此の α は Merica の X に相當するものとした、又 Fink 及び Horn⁶⁾ は X 線分析の結果此 α は $FeAl_3$ と大體同一の空間格子を有し $FeAl_3$ に固溶體をなせるものとし β は其空間格子が是等のものと異り三元化合物をなすものとした、最近に於て Fuss⁷⁾ は $Al_6Fe_2Si_3$ に相當する三元化合物の存在を證明し又アルミニウム、珪素及び此の三元化合物の間に約 570°C

に於て三元共融點が在るものとし其の成分は珪素 12.5%、鐵 0.5%、アルミニウム 87% とせる此三元系の平衡狀態圖を與へた、併し同氏の三元狀態圖として説明せる處を見るに理論的に見て不可解のものがあるので完全のものと見做し得ないのである、要するに何れの發表を見るもアルミニウムを主成分とするアルミニウム—鐵—珪素三元系の研究は不完全のものと云ひ得る譯で本研究は之を闡明にするを目的としたるものであつた、但し本研究を行ひつゝあるに際し Fuss の論文が發表せられたるものにして何等本研究が Fuss の論文に據りたることなきを特に記して置きたい。

使用材料並に試料の製造

使用材料としてはアルミニウムは鐵及び珪素の含有せらるゝも差支へなきを以て特に純度高きものを選びカプリソ—製の純度 99.6% のものを用ひ鐵はアルムコ鐵、珪素は大垣電氣工業所製珪素鐵純度 98% と稱するものを用ひた、珪素は別段純珪素を必要とせざるを以て精製せずして用ひたのである、是等の材料を以て適當なる母合金を造り分析したる後、所要の試料を鑄造し之を分析したる後、熱分析に供し或は顯微鏡研究に用ひたのである。

研究方法

研究方法としては主として示差熱分析に據る事にし顯微鏡組織の研究を其補助に用ひた。

示差熱分析の方法は第 1 圖 (a) に示す如く A なるニクロム巻電氣爐に底付磁製管 a を入れ其上端には b の如き黃銅製の水冷装置を取付け c の部分より真空ポンプに接續する様にした、磁製管中にはタンマン管 d を入れタンマン管中には豫め造りたる試片を入れて其中にアランダムを塗布し

1) Merica, Waltenberg, Freemann: Trans. Am. Inst. Min. Met. Eng. 64 (1920) 3.

2) Wills: Metal Industry (London), (1919)

3) Rosenhain, Archbutt, Hanson; 前掲。

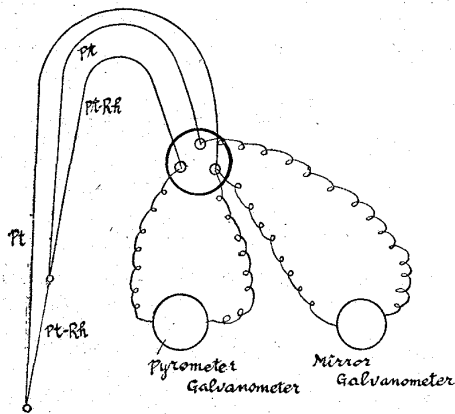
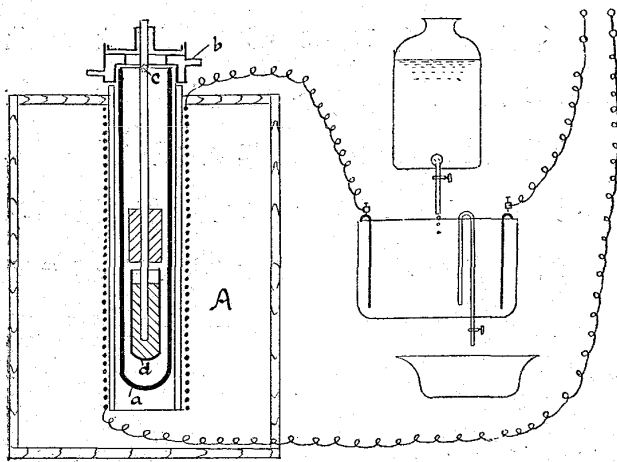
4) Gwyer, Phillips; J. Inst. Metals, 38 (1927) 29.

5) Dix, Heath: Am. Inst. Min. Met. Eng. Metal Division, (1928) 164.

6) Fink, Horn: 同上 (1929)

7) Fuss; Z. Metallkunde, 23 (1931) 231.

第 1 圖 (a)



たる磁製保護管に第 1 圖 (b) に示す如きカップルを入れて差し込み、タンマン管上には圖に示す如くニッケルの比較片を乗せカップルは上部の水冷装置の蓋の中心から外部に導かれる様にした、各接續部は封蠟を以て封じ磁製管 a の内部を真空にする様に工夫したのである、カップルの接續法は Saladinle Chatelier の示差法と同様のもので圖に示す如くにして溫度計の読みと電流計の振れを讀みて冷却又は加熱曲線を求めたのである、尤も此場合溫度計の溫度は豫め此装置を用ひて同様の状況の下に於て純金屬の熔融點を以て補正したるものを用ひたのである。

熱分析による測定結果

珪素約 30% 迄の範圍に於ける鐵 1.3%, 2%, 4%, 10%, 15%, 20%, 25% 及び 32% の斷面

に相當する合金を造り之に就て上記の如き方法を以て熱分析を行ひたる結果を示すと第 2—9 表に示す如くなつた。

第 2 表

番號	成分 (分析)			熱 分 析 (°C)		
	Fe	Si	Al	初晶點	停止點又は變化點	
A 1	1.38	1.53	殘分	642	622	
A 2	1.41	2.37	"	642	619	578
A 3	1.32	4.47	"	637	614	577
A 4	1.41	5.63	"	625	614	577
A 5	1.23	6.78	"	621	602	577
A 6	1.24	7.63	"	616	598	578
A 7	1.26	9.56	"	612	578	
A 8	1.28	12.30	"	590	578	
A 9	1.27	14.78	"	590	579	
A 10	1.37	16.63	"	620	578	
A 11	1.23	24.97	"	735	578	
A 12	1.37	31.45	"	790	533	578

第 3 表

番號	成分 (分析)			熱 分 析 (°C)		
	Fe	Si	Al	初晶點	停止點又は變化點	
B 1	2.05	1.56	殘分	643	611	
B 2	2.03	2.51	"	644	611	578
B 3	2.13	3.71	"	641	611	578
B 4	1.96	4.87	"	631	610	578
B 5	2.02	6.08	"	619	611	577
B 6	1.99	7.04	"	613	610	
B 7	2.03	8.34	"	608	578	
B 8	2.03	10.66	"	600	578	
B 9	1.75	13.23	"	584	578	
B 10	1.85	14.20	"	582	578	
B 11	1.59	17.46	"	622	577	
B 12	2.01	26.26	"	755	578	
B 13	2.12	31.77	"	875	655	578

第 4 表

番號	成分 (分析)			熱 分 析 (°C)		
	Fe	Si	Al	初晶點	停止點又は變化點	
C 1	4.31	1.20	殘分	695	650	
C 2	4.45	2.07	"	685	644	613 578
C 3	4.62	3.26	"	680	638	611 576
C 4	4.22	4.23	"	656	631	606 577
C 5	4.27	5.24	"	645	624	609 578
C 6	4.43	6.13	"	621	610 576	
C 7	4.25	7.13	"	617	578	
C 8	4.00	8.35	"	636	613	578
C 9	4.44	9.26	"	644	604	577
C 10	4.75	10.87	"	647	598	578
C 11	4.97	12.91	"	663	589	581
C 12	4.43	14.88	"	651	590	578
C 13	4.06	17.94	"	639	618	577
C 14	3.83	21.19	"	663	651	577
C 15	4.03	21.72	"	828	695	578

第 5 表

番號	成分 (分析)			熱 分 析 (°C)		
	Fe	Si	Al	初晶點	停止點又は變化點	
D 1	9.97	1.02	殘分	897	653	
D 2	10.43	1.95	"	896	642	614 577
D 3	10.50	3.03	"	889	633	610 577
D 4	10.55	4.36	"	858	626	604 578

D 5	10:60	5:20	〃	845	622	577
D 6	10:20	6:06	〃	784	646	617 578
D 7	10:34	8:12	〃	730	675	607 578
D 8	10:14	10:46	〃	738	702	596 577
D 9	10:16	13:33	〃	732		586 577
D10	10:62	15:06	〃	728		581 577
D11	10:32	21:30	〃	751	644	578
D12	10:35	31:80	〃	815	800	578

第 6 表

番號	成分 (分析)			熱 分 析 (°C)		
	Fe	Si	Al	初晶點	停止點又は變化點	
E 1	15:88	2:65	殘分	949	641	578
E 2	15:50	5:05	〃	910	628	578
E 3	15:30	7:87	〃	873	611	578
E 4	15:60	10:04	〃	848	720 597	577
E 5	15:50	12:64	〃	807	758 585	577
E 6	15:30	15:78	〃	786	628	577
E 7	15:88	21:08	〃	800		577
E 8	15:40	26:77	〃	810		578
E 9	14:60	32:22	〃	828		577

第 7 表

番號	成分 (分析)			熱 分 析 (°C)		
	Fe	Si	Al	初晶點	停止點又は變化點	
F 1	18:94	2:23	殘分	990	637 619	577
F 2	19:14	4:41	〃	984	627	578
F 3	20:40	6:66	〃	960	683 617	578
F 4	21:22	8:61	〃	952	749 598	577
F 5	20:67	10:43	〃	911	765 610	577
F 6	20:91	12:14	〃	899	802 587	578
F 7	20:38	14:67	〃	862	827 630	578
F 8	20:91	19:87	〃	855	843 771	577
F 9	20:50	26:43	〃	831		577
F10	20:95	30:53	〃	848		578

第 8 表

番號	成分 (分析)			熱 分 析 (°C)		
	Fe	Si	Al	初晶點	停止點又は變化點	
G 1	25:20	6:26	殘分	1,003	901 706 612	578
G 2	25:06	11:38	〃	953	794 620	578
G 3	25:90	15:80	〃	911	848 515	578
G 4	25:40	21:13	〃	867	792	578
G 5	25:95	25:35	〃	860	717	578
G 6	25:99	31:35	〃	866	750	578

第 9 表

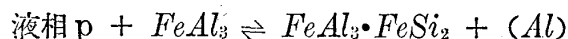
番號	成分 (分析)			熱 分 析 (°C)		
	Fe	Si	Al	初晶點	停止點又は變化點	
H 1	32:08	9:68	殘分	1,032	848 604	578
H 2	31:84	14:25	〃	967	888 868 614	578
H 3	32:18	19:50	〃	917	873 783 622	578
H 4	31:95	22:90	〃	908	865 819	578
H 5	32:29	25:85	〃	905	833	578
H 6	32:04	29:47	〃	909	862	578

以上の熱分析の結果を顯微鏡組織の研究を考慮に入れて求めたる断面状態圖は第 2—9 圖であ

る。次に是等の断面状態圖を土臺に珪素の含有量 2%, 4%, 6%, 10%, 15%, 20%, 25% 及び 30% の断面圖を求めたるものが第 10—18 圖である。又是等の断面圖を土臺に液相面を求めて見ると第 19 圖の如くなる。断面状態圖より見る如く本研究の範圍に於ては 3 種の不變系反應線が存在する事を見るのであるが第一のものは何れの断面圖に於ても見る所の 578°C に於て行はるゝものにして此溫度はアルミニウム—珪素二元系に於ける共融溫度と一致せる點より考へて



を示したるものにして Fuss の與へたる如き三元共融反應は存在せざることを知るのである、但し (Al) はアルミニウムを主成分とせる固溶體を指示したるものである。次に 615°C に於て一變系反應線がアルミニウム—鐵側に近く存在せるを見るのであるが之は第 19 圖の P 點にて示されたるものにして



にて示さるゝ包共晶反應に相當したるものと考へられる、之れは其の反應は明かにせざりしも既に Rosenhain, Archbutt 及び Hanson の發見したるものに等しいのである、但し $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ なる三元化合物は Merica が X として不明なりとしたる三元化合物に相當したるものにして著者は後に述べる如く X なる化合物が $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ であることを顯微鏡的に證明したのである。圖に於ては之を T にて示して居る。

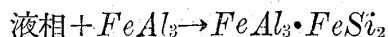
尙鐵 30% の断面圖に見る如く 870°C に於て一つの不變系反應が生ずるのであるが著者の研究範圍に於ては正確に其反應が如何なるものなるかを決定し得なかつたが、恐らく



の如き包晶反應であると考へられるが然し斷定出來ない、但し χ は不明の相を示した者である。

顯微鏡組織の研究

顯微鏡組織の研究に注意すべきは其腐蝕液であるが之は種々試みたる結果 Gwyer 及び Phillips 兩氏の行ひたる如く弗化水素の水溶液を用ひたのである、然る時は FeAl_3 及び $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ の三元化合物は何れも着色せられて區別が出來たのである、併し三元化合物の $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ が FeAl_3 の初晶の析出の後にて



の如き包晶反應を以て生じる場合、鑄造の儘の試片に於ては初晶の FeAl_3 を $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ にて圍みたる組織を呈せるが之を固相線以下の溫度にて加熱し平衡状態に達せしめるに際し FeAl_3 が全部 $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ に變化すべき筈なるも完全に反應が完了するには可なり長時間を要し其の變化が途中なる時には腐蝕による着色の程度を異にし又同じ FeAl_3 又は $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ にしても腐蝕の程度にて茶褐色より青色の間に着色を受けて一見異なる組成の存在せると疑ふことが出來るのである。之れが Gwyer 及び Phillips 兩氏が種々の準安定相の存在を假定したる原因にして實は FeAl_3 と三元化合物としては $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ のみが存在するのであることを知つたのである。

顯微鏡組織に就ては殆ど總ての試片について其鑄造の儘或は各種の溫度に保持し焼入して之を見たるが其必要なるものに就てのみ之を示すことにした寫眞第 1—16 圖は即ちそれである。

寫眞第 1 圖は A 1 ($\text{Fe} 1.38\%$, $\text{Si} 1.53\%$) の試料を 600°C にて 2 時間加熱焼入したるものな

るが (Al) を基質として之に針狀の化合物が存在せるを見るが、注意して見るに此の化合物は二種ありて顯微鏡下に於ては茶褐色に着色せられて見らるゝが a の稍々薄きものが FeAl_3 にして b の方が $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ である、之は僅かに 2 時間の加熱なりし爲變化不完全にして FeAl_3 が残れるも同一試片を 250°C にて 2 週間加熱焼入した者を見るに寫眞第 2 圖の如く (Al) の基質に $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ のみが存在して居るを見るのである。

次に寫眞第 3 圖は A 2 ($\text{Fe} 1.41\%$, $\text{Si} 2.37\%$) の試片を 250°C にて 2 週間加熱焼入したるものにして (Al) の基質に茶褐色に着色せられたる三元化合物 $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ が針狀の結晶をなして含まれ、それに尙珪素の灰青色の結晶が現はれて居るを見るのである、寫眞第 4 圖は A 3 ($\text{Fe} 1.32\%$, $\text{Si} 4.47\%$) の試片を 605°C にて 3 時間加熱焼入したるものなるが第 2 圖の断面にて見る如く此溫度にては液相 + (Al) + $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ の存在區域に相當するが寫眞は明かに之を示し (Al) の丸味を帯びたる結晶に沿ひて $\text{FeAl}_3 \cdot \text{FeSi}_2$ が存在し、それを圍みて液相が在る、液相は液態から急冷せられて凝固したるが爲に細粒の組織を呈し (Al) の樹枝狀の小結晶が發達して居るを見る、寫眞第 5 圖は A 5 ($\text{Fe} 1.23\%$, $\text{Si} 6.78\%$) を 600°C にて 14 時間加熱焼入したるものゝ組織なるが寫眞第 4 圖と全く同様の組織を呈して居る、同様の試料を 500°C にて 20 時間加熱焼入したるものが寫眞第 6 圖にして其組織は寫眞第 3 圖と同様なるが珪素の結晶の含有が多く含まれて居るを見るのである。

寫眞第 7 圖は B 1 ($\text{Fe} 2.05\%$, $\text{Si} 1.56\%$) を 250°C にて 2 週間加熱焼入したるものにして

(Al)の基質に $FeAl_3$ と $FeAl_3 \cdot FeSi_2$ の含まれたるを示し、寫眞に示さざるも B2 (Fe 2.03%, Si 2.51%) を同様の處理を施したるものは (Al) の基質に $FeAl_3 \cdot FeSi_2$ の針狀結晶の外は珪素の結晶が僅かに含有せられて居るのを見たるが是等の關係は第3圖の斷面圖と比較して見ると明かになるのである。

次に寫眞第8圖は D2 (Fe 10.43%, Si 1.95%) の試片を $530^\circ C$ にて22時間加熱焼入したるものにして (Al) の基質に初晶として析出したる $FeAl_3$ が $FeAl_3 \cdot FeSi_2$ にて圍まれたる有様を示したるものにして寫眞第9圖は D3 (Fe 10.50%, Si 3.03%) を同様の熱處理を施したるものなるが (Al) の基質中に $FeAl_3 \cdot FeSi_2$ の結晶が存在せるに過ぎない、然るに寫眞第10圖は同様に處理を施したる D4 (Fe 10.55%, Si 4.36%) を示したるものなるが之にては $FeAl_3 \cdot FeSi_2$ 以外に珪素の灰青色の結晶が多く現はれて居るのを見るのである。

寫眞第11圖は F1 (Fe 18.94%, Si 2.23%) の試片を $450^\circ C$ にて25時間加熱焼入したるものなるが (Al) を基質とし、それに針狀の結晶が黒く現はれて居るのは茶褐色に着色せられたる $FeAl_3$ とそれを包みたる三元化合物 $FeAl_3 \cdot FeSi_2$ である、尙 (Al) の基質中にも此三元化合物の小結晶を認めるのである、次に寫眞第12圖は F4 (Fe 21.22%, Si 8.61%) にして同様の熱處理を施したるものなるが $FeAl_3$ が全部變化して三元化合物となるものを示し大きい針狀結晶は初晶として析出したる $FeAl_3$ より變化したるものにして細かいものは第二次の結晶により生じたる三元化合物である、之が寫眞第13圖に見る如く F6 (Fe 20.91

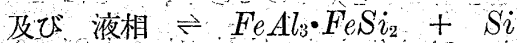
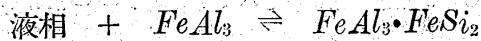
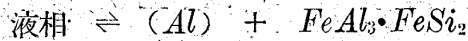
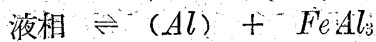
%, Si 12.14%) となると同様の處理を施したるものに於ては (Al) と三元化合物と珪素の存在すべきものであるが寫眞に於ては加熱の時間の不足なりし爲に $FeAl_3$ が全部 $FeAl_3 \cdot FeSi_2$ に變化せずして残れるを見るが結局は全部 $FeAl_3 \cdot FeSi_2$ となるべきものである、而して第二次に析出したる三元化合物の附近に珪素の小結晶が多く存在せるを見るのである、要するに鐵 20% の斷面に於ては F4 の成分を境界として共存相の差異あることが明かに見られるのである、次に寫眞第14圖は H3 (Fe 32.18%, Si 19.50%) のものを $515^\circ C$ にて20時間加熱し焼入したるものなるが包晶現象は完全に除かれざるも大部分三元化合物となる其中間に於て (Al) を基質とし珪素が細かく分布して存在せるを見るのである、又寫眞第15圖は H4 (Fe 31.95%, Si 22.90%) を $535^\circ C$ にて60時間加熱し焼入したるものの組織にして同様の組織を呈せるを知るのである、然るに Fuss の與へたる三元化合物 $Al_6Fe_2Si_3$ (Fe 31.3%, Si 23.4%) が丁度此の附近に存在せる筈なるが熱分析の結果にても明かなる如く其冷却曲線に多くの變化點を示し顯微鏡組織を見ても完全なる一相のものと考え得られない、即ち Fuss の云へる三元化合物 $Al_6Fe_2Si_3$ の存在は極めて疑はしい事が明かになつたのである。

されば既に求め得たる平衡状態圖から考へ二、三の三元化合物を假定して其試片を造り熱處理の後其組織を調べたるに寫眞第16圖に見る如き殆ど針狀結晶のみの集合よりなるものを得たのである、其分析の結果は Fe 45.21%, Si 24.57% であつた、之は丁度 $FeAl_3 \cdot FeSi_2$ (Fe 44.9%, Si 22.5%) に極めて近いものであるので上記の如き

三元化合物の存在を考へて差支へないと思ふのである、之が今迄 X として知られたるもので丁度 $FeAl_3$ と $FeSi_2$ を結ぶ直線上に存在せる三元化合物である。

総合平衡状態圖

上記の結果を総合して求めたる総合平衡状態圖が第 20 圖である、圖に於ては便宜上 $Al-Fe$ 及び $Al-Si$ の二元系を互に直角なる軸上に畫きて示したのである。圖に於て AEPB が (Al) の初晶面に相當し、CBPOR が $FeAl_3$ の初晶面の區域である、SOPED が $FeAl_3 \cdot FeSi_2$ にて示さるゝ三元化合物の初晶面に相當し DEF が珪素の初晶面の區域を示して居る、而して BP, PE, OP 及び DE の示す一變系反應線は夫々



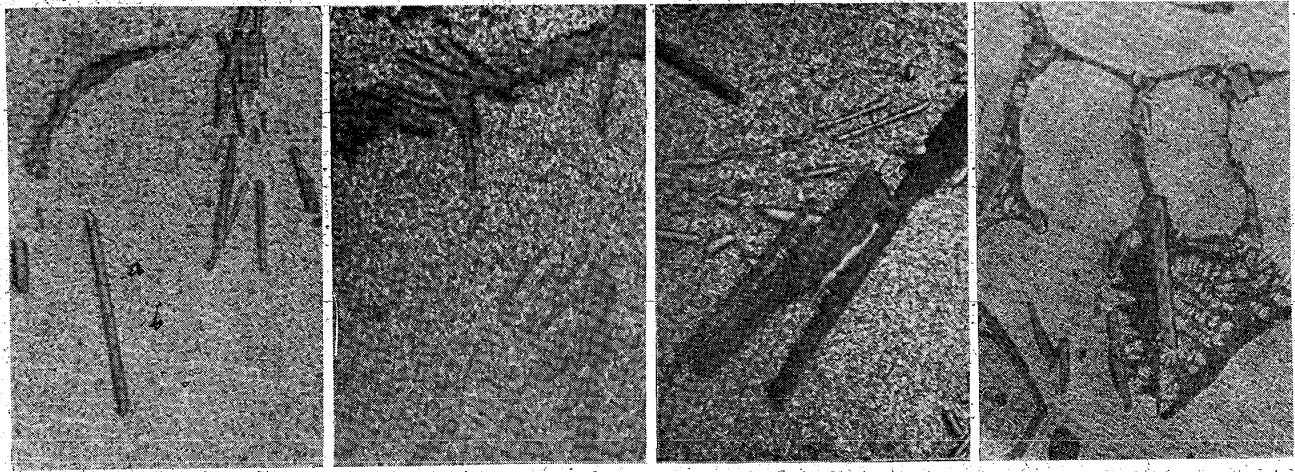
を示したるもので不變系反應を示す O, P 及び E は次表に示す如きものである。

(1)

(2)

(3)

(4)



(1) A 1 (Fe 1.38%, Si 1.53%)

(2) 同 上

(3) A 2 (Fe 1.41%, Si 2.37%)

(4) A 3 (Fe 1.32%, Si 4.47%)

600°C 2 時間加熱焼入 500×

250°C 2 週間加熱焼入 600×

250°C 2 週間加熱焼入 600×

605°C 3 時間加熱焼入 170×

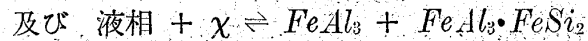
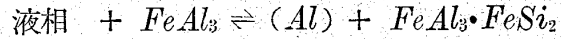
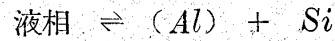
印刷の都合上 3/4 に縮寫したるもの

第 10 表

不變點	成分			溫度 °C	反應
	Al	Fe	Si		
P	92	1	7	615	液相 + $FeAl_3 \rightleftharpoons FeAl_3 \cdot FeSi_2 + (Al)$
E	88.4	—	11.6	578	液相 \rightleftharpoons (Al) + Si
O	66	23	21	870	液相 + X $\rightleftharpoons FeAl_3 + FeAl_3 \cdot FeSi_2$

結論

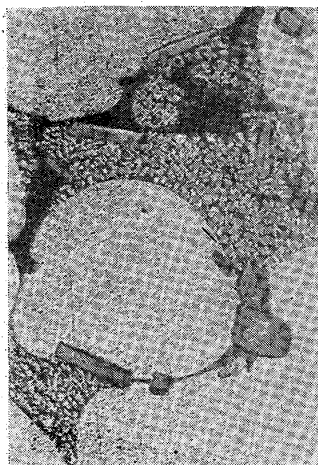
鐵及び珪素が約 30% 迄含有するアルミニウム—鐵—珪素系に就て其平衡状態圖を決定した、其結果 578°C, 615°C 及び 870°C に於ける三種の不變系反應の存在を知り、夫々



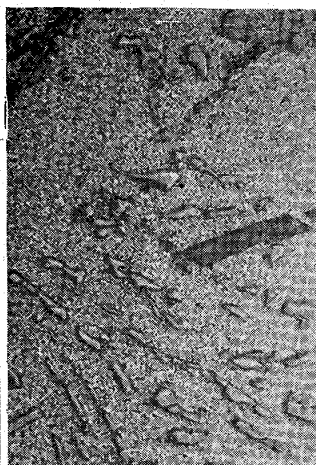
なることを決定し、今迄 X として知られたる三元化合物が $FeAl_3 \cdot FeSi_2$ ($Fe_2Al_3Si_2$) なることを明かにした。

終に臨み本研究は京都帝國大學工學部中央實驗所に於ける研究の一部にして恩師齋藤大吉先生の御援助に據る所多きを附記し山岸工學士の實驗に對する努力とに對して深く感謝の意を表するものである。

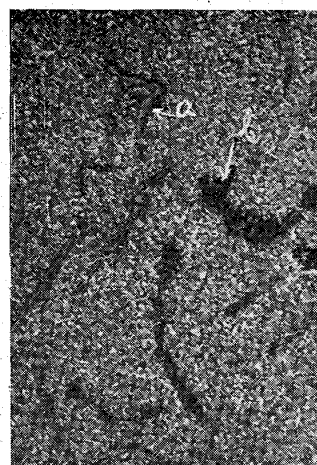
(5)



(6)



(7)



(8)



- | | | | | |
|-----|--|-------|-----------|------|
| (5) | A 5 (<i>Fe</i> 1.23%, <i>Si</i> 6.78%) | 600°C | 14 時間加熱焼入 | 170× |
| (6) | 同 上 | 500°C | 20 時間加熱焼入 | 500× |
| (7) | B 1 (<i>Fe</i> 2.05%, <i>Si</i> 1.56%) | 250°C | 2 週間加熱焼入 | 600× |
| (8) | D 2 (<i>Fe</i> 10.43%, <i>Si</i> 1.95%) | 530°C | 22 時間加熱焼入 | 170× |

印刷の都合上 3/4 に縮寫したるもの

(9)



(10)



(11)



(12)



(13)



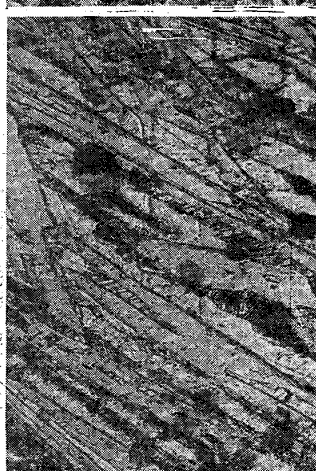
(14)



(15)

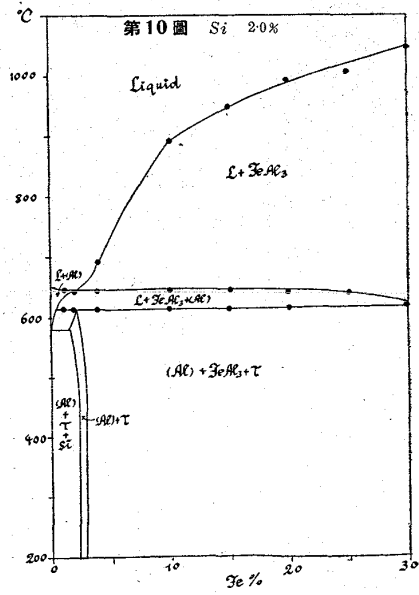
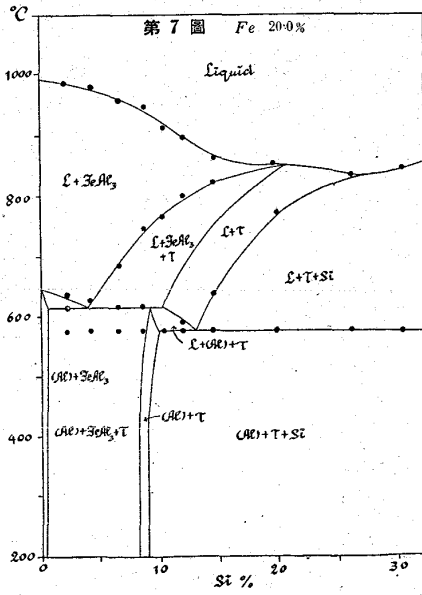
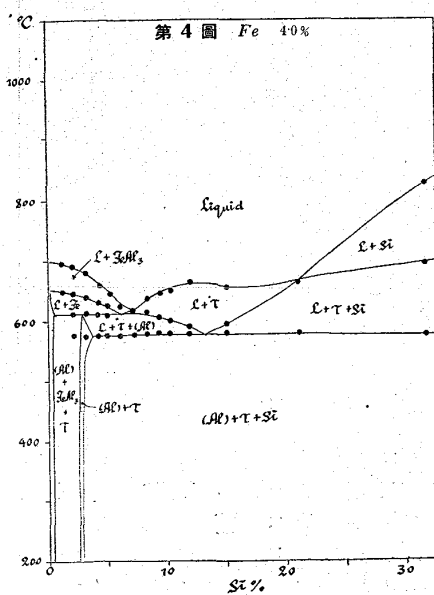
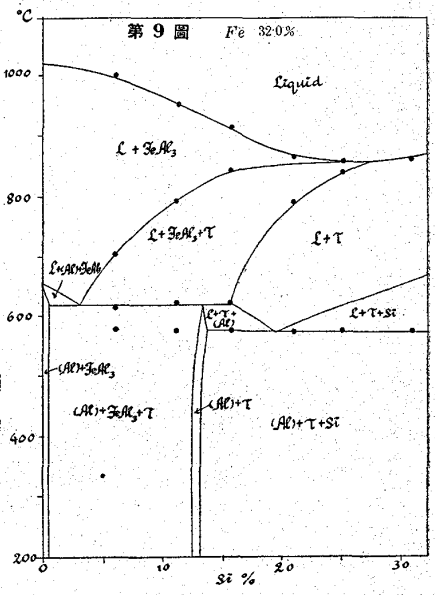
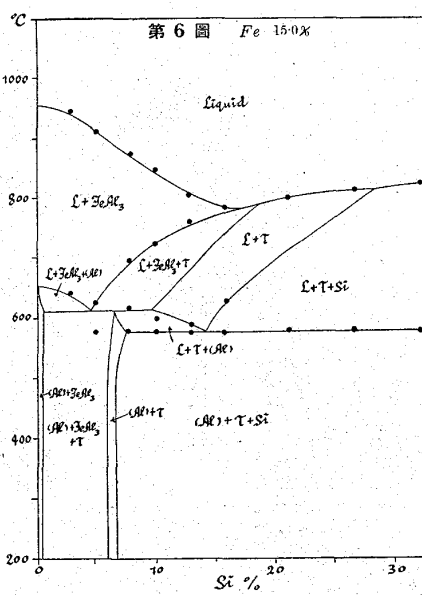
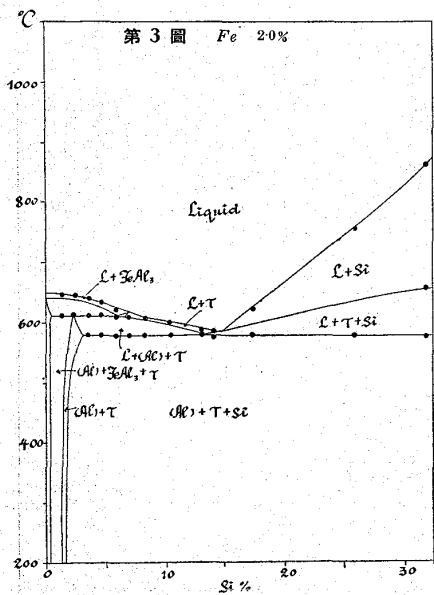
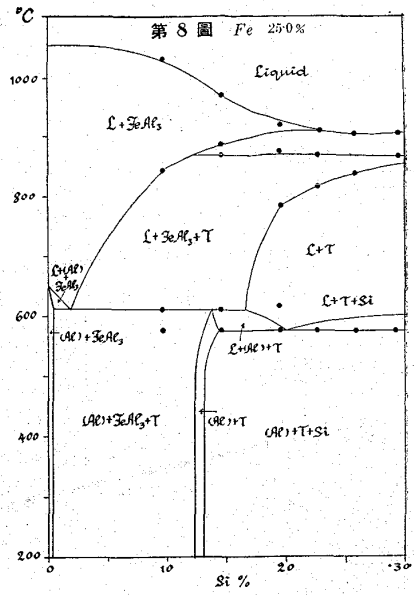
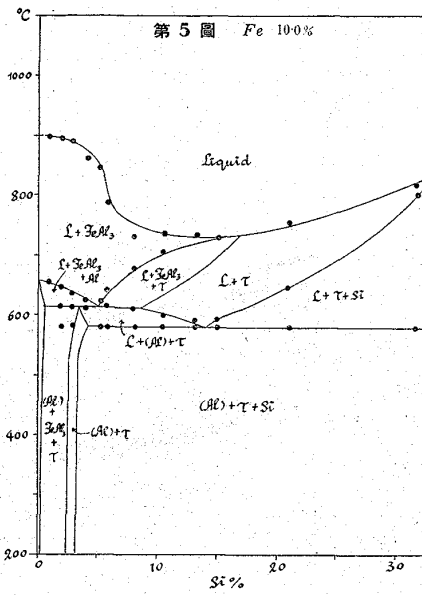
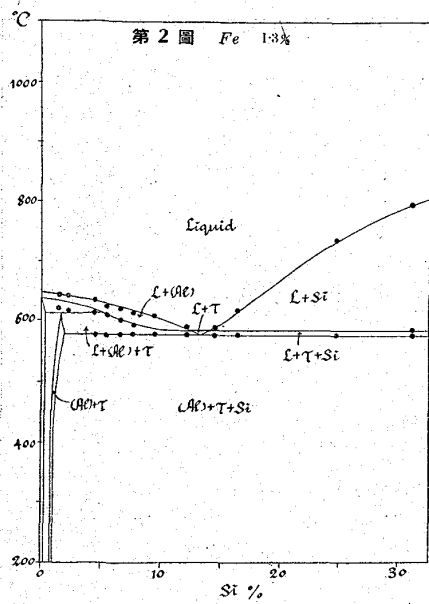


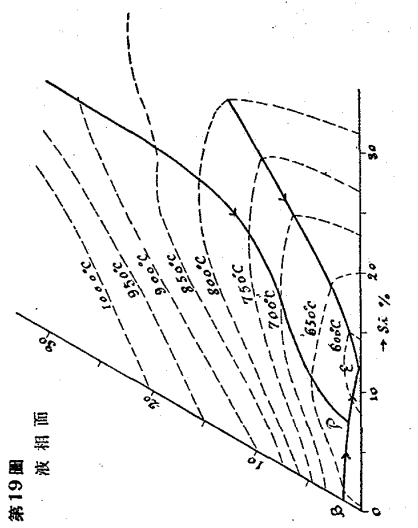
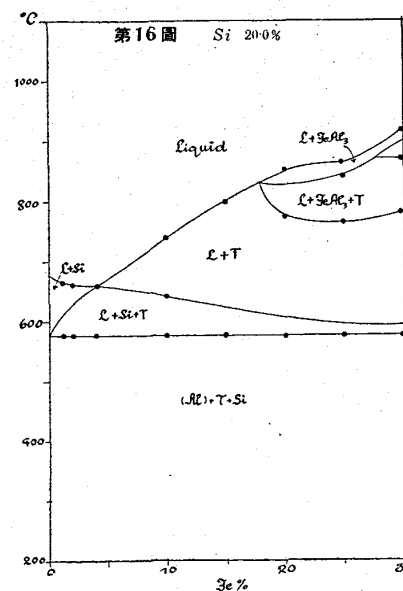
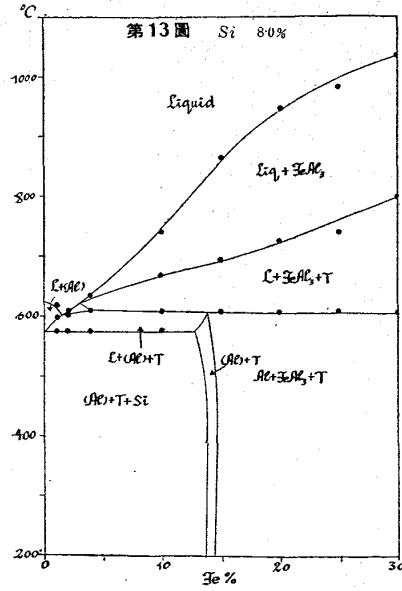
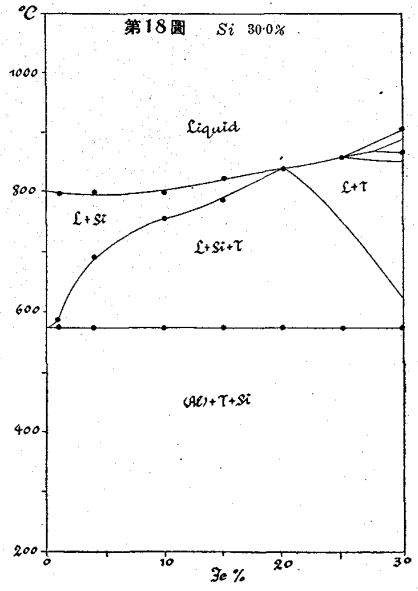
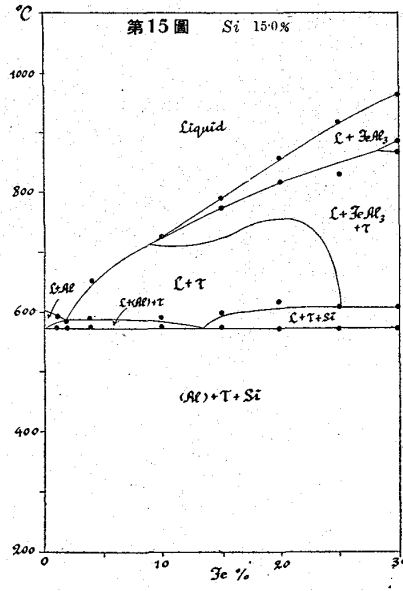
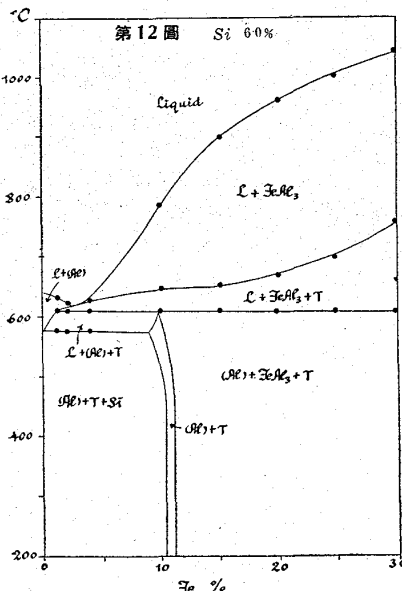
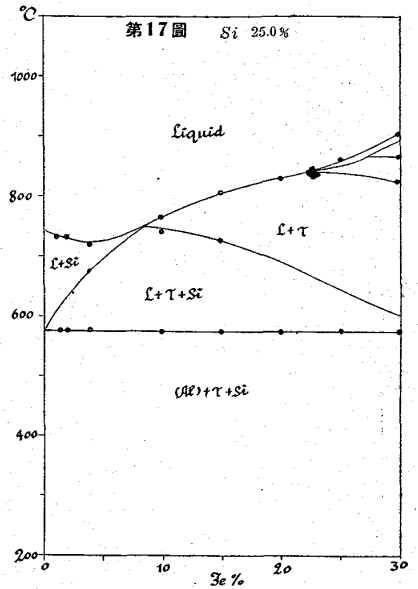
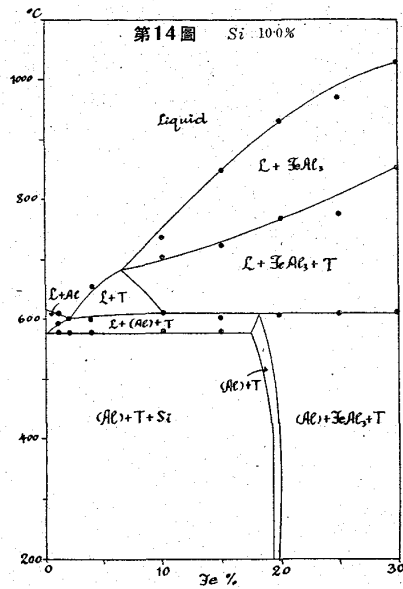
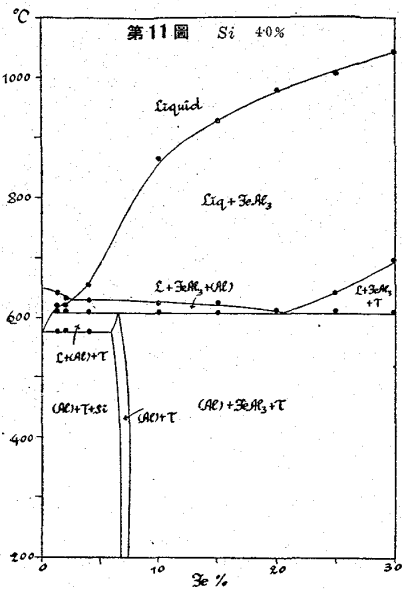
(16)



- | | | | | |
|------|---|-------|-----------|------|
| (9) | D 3 (<i>Fe</i> 10.50%, <i>Si</i> 3.03%) | 530°C | 22 時間加熱焼入 | 170× |
| (10) | D 4 (<i>Fe</i> 10.55%, <i>Si</i> 4.36%) | 530°C | 22 時間加熱焼入 | 170× |
| (11) | F 1 (<i>Fe</i> 18.94%, <i>Si</i> 2.23%) | 540°C | 25 時間加熱焼入 | 170× |
| (12) | F 4 (<i>Fe</i> 21.22%, <i>Si</i> 8.61%) | 540°C | 25 時間加熱焼入 | 170× |
| (13) | F 6 (<i>Fe</i> 20.91%, <i>Si</i> 12.14%) | 540°C | 25 時間加熱焼入 | 170× |
| (14) | H 3 (<i>Fe</i> 32.18%, <i>Si</i> 19.50%) | 515°C | 20 時間加熱焼入 | 170× |
| (15) | H 4 (<i>Fe</i> 31.95%, <i>Si</i> 22.90%) | 535°C | 60 時間加熱焼入 | 170× |
| (16) | (<i>Fe</i> 45.21%, <i>Si</i> 24.57%) | 550°C | 16 時間加熱焼入 | 170× |

印刷の都合上 3/4 に縮寫したるもの





第 20 圖

總 合 平 衡 狀 態 圖

