

## 銅珪素アルミニウム合金の平衡状態図 (II)\*

久 恒 中 陽\*\*

SYNOPSIS:—The constituent of the whole ternary system copper-aluminium-silicon were considered. No ternary intermetallic compound is observed and 15 definite constituents which have been determined in each binary system were also found to occur in this ternary system. There exist 11 surfaces of the primary separation, and 8 invariant points on the liquidus surface; among them 2 points are ternary eutectic, 1 point ternary peritectic, and 5 points peritecto-eutectic. Both the  $\beta$  phases of the  $Cu-Si$  and  $Cu-Al$  system are completely soluble in all proportions in the ternary system, and it decomposes into  $\alpha + \gamma$ ; the univariant reaction line of this decomposition has a minimum point at about  $500^\circ C$ . 2 invariant reactions in solid state,  $\gamma + \gamma_s \rightleftharpoons \chi + \alpha$ ,  $\gamma + \chi \rightleftharpoons \alpha + \epsilon_s''$ , are found to exist at  $675^\circ$  and  $495^\circ C$ . Five invariant reactions;  $\gamma + \epsilon_{s\alpha} \rightleftharpoons \delta + Si$ ,  $\epsilon_{s\alpha} \rightleftharpoons \delta + \zeta_1 + Si$ ,  $\zeta_1 \rightleftharpoons \delta + \zeta_2 + Si$ ,  $\epsilon_{s\alpha} + \eta_1 \rightleftharpoons \zeta_1 + Si$ ,  $\zeta_1 + \eta_1 \rightleftharpoons \zeta_2 + Si$  and two ternary polymorphic changes due to the  $\eta_1 \rightleftharpoons \eta_2$  phases, take place almost the same temperatures as in the binary  $Cu-Al$  system. Four ternary polymorphic changes due to the  $\epsilon_s \rightleftharpoons \epsilon_s'$  and  $\epsilon_s' \rightleftharpoons \epsilon_s''$  take place at  $600^\circ$   $\gamma + \epsilon_s \rightleftharpoons \epsilon_s' + X$ ,  $550^\circ$   $\gamma + \epsilon_s' \rightleftharpoons \epsilon_s'' + X$ ,  $585^\circ$   $\gamma + \epsilon_s \rightleftharpoons \epsilon_s' + Si$ , and  $525^\circ$   $\gamma + \epsilon_s' \rightleftharpoons \epsilon_s'' + Si$  respectively. The limit of solubility of silicon and aluminium in solid copper has been also determined.

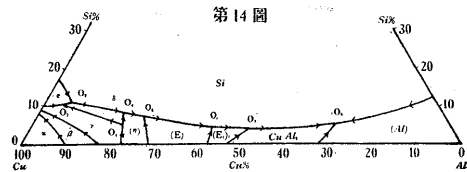
## I. 緒 言

此3元系の研究に関しては  $Al$  を主成分とする合金に就いては二三の報告があるが銅合金に関しては甚だ少ない。Fuss<sup>27)</sup> が始めて  $Al$  側の3元合金の状態図を研究し  $Al-Si$ ,  $CuAl_2$  の3者が  $520^\circ C$  に於て共晶反応をなし其共晶の組成は 65.8%  $Al$ , 29%  $Cu$ , 5.2%  $Si$  であると報告した。翌年 1925 年後藤、三島<sup>28)</sup> 両博士は  $Cu$  40%,  $Si$  16% 迄の範囲の合金を研究され3元共晶の存在することを認められ共晶温度は  $517^\circ C$  であると報告された。1928 年筆者<sup>29)</sup> は  $Cu$  含有量 0~70%,  $Si$  含有量 0~8% にわたる廣範囲の合金に就いて研究を行ひ大體此範囲に於ては2の包共晶反応 液相 +  $\eta \rightleftharpoons CuAl + Si$ , 液相 +  $CuAl \rightleftharpoons CuAl_2$ , が夫々  $611$  及び  $573^\circ C$  に現れ3元共晶反応、液相  $\rightleftharpoons Al + CuAl_2 + Si$ , が  $522^\circ C$  に存在すると報告した。

同年 Gwyer, Phillips 及び Mann<sup>30)</sup> が 0~50%  $Cu$ , 0~20%  $Si$  合金の研究を行ひ此範囲に於ては  $525^\circ C$  に於て  $Al$ ,  $CuAl_2$ ,  $Si$  の3者よりなる3元共晶反応存在し其組成は 26%  $Cu$ , 6.5%  $Si$ , 67.5%  $Al$  であると発表

した。最近 Urazov, Pogodin 及び Zamoruev<sup>31)</sup> が同様な研究を行ひ3元共晶温度は  $525^\circ C$  で其組成は 27%  $Cu$ , 5%  $Si$ , 68%  $Al$  であると報告して居る。要するに  $Al$  側に於ける3元共晶反応のみは總ての人々によつて認められて居るが其他の反應に就いては筆者の報告があつたのみである。

銅を主成分とする合金の研究としては鹽澤氏<sup>32)</sup> Sevault<sup>33)</sup> 及び Brice<sup>34)</sup> 等のアルミニウム青銅に及ぼす  $Si$  の影響を機械的



物理的に研究した一助として少しく組織の研究

があるのみで全然知られて居なかつたのであるが最近松山寛慈博士<sup>35)</sup>の研究がある。同博士は銅側より研究され此3元系全般に互る状態図を發表されたのであるが其れを示せば第14圖の如きもので此状態圖の發表される約1ヶ月前筆者は此系全般に互る平衡圖を講演發表したのであるが今處では少しく松山博士の状態圖を記述し別項に於て之に對する筆者の状態圖を述べることにする。松山博士によると

\* 第1報, 鐵と銅 21 (昭9) 9 號

\*\* 京都帝大工學部探鍊冶金學教室

27) Z. Metallk. 16 (1924) 362

28) 日本鑛業會誌 41 (1925) 4

29) 水曜會誌 5 (1928)

30) J. Inst. Metals, 40 (1928) 297

31) C. A. 25 (1931) 1785.

32) 日本鑛業會誌 45 (1929) 217

33) Rev. Mét., 27 (1930) 154

34) J. Inst. Metals, (1931)

35) 金屬の研究 11 (1934) 461

液相面上に於ける不変系は次の如きものである\*。

- $\theta_1$   $\gamma + (\eta) \rightleftharpoons \delta + \text{液態}$  再融反應 870°C
- $\theta_2$  液態 +  $\gamma \rightleftharpoons \delta + \epsilon$  包共晶反應 800°C
- $\theta_3$  液態  $\rightleftharpoons \epsilon + \delta + Si$  3 元共晶反應 740°C
- $\theta_4$  液態 +  $\delta \rightleftharpoons (\eta) + Si$  包共晶反應 770°C
- $\theta_5$  液態 +  $(\eta) \rightleftharpoons (\epsilon) + Si$  包共晶反應 745°C
- $\theta_6$  液態 +  $(\epsilon) \rightleftharpoons (\epsilon_1) + Si$  包共晶反應 615°C
- $\theta_7$  液態 +  $(\epsilon_1) \rightleftharpoons CuAl_2 + Si$  包共晶反應 575°C
- $\theta_8$  液態  $\rightleftharpoons CuAl_2 + Al + Si$  3 元共晶反應 522°C

此等の中  $\theta_6, \theta_7, \theta_8$  の3つの不変系點に關しては 1928 年著者の發表したものと全く一致して居る又  $\theta_2$  點で示す 3 元共晶反應の存在は確かであつて筆者によると 727°C に於ける變化である。其他の反應に就ては筆者のそれと多少見解を異にして居る。同博士は以上の不変系の外に固相間に於ける反應として  $\beta + \gamma \rightleftharpoons \alpha + \delta, \gamma + \epsilon \rightleftharpoons \delta + \eta$ , なる 2 つが存在すると報告されて居られるが其の溫度並に反應範圍に關しての記述がない。尙  $Cu \cdot Al$  2 元系合金の  $\eta, (\epsilon), (\epsilon_1), (\epsilon_2)$ , 相が 3 元系になると如何なる役割を示すかも詳細に論及してない様である。即ち此系の固態間の反應に就いては未だ明かでない。

II. 使用材料、試料製作並に實驗方法

使用原料としての  $Cu$  は三菱製電氣銅板を  $Al$  は 99.8 % のもの、又  $Si$  は大垣電氣冶金製 98% 純度のものを使用した。金屬珪素は粉碎し煮沸王水中に入れて充分精製を繰返したのであるが分析結果は  $Si$  98.74%,  $Fe$  0.83%,  $Al$  0.22% である。

$Si$  の添加は常に中間合金を作つて其を使用した。中間合金としては  $Cu \cdot Si$  中間合金 (10%, 及び 24%) 及び

$Al \cdot Si$  中間合金 (10%, 15% 及び 25%) の 5 種類のものを使用した。前者は  $Cu$  合金へ後者は  $Al$  合金へ夫々添加したのである。

實驗方法としては主として熱分析並に顯微鏡試験によつたのであるが大體前篇記述の  $Cu, Al, 2$  元系合金の場合と同様である。

III. 銅を主成分とする  $Cu-Al-Si$  合金の状態圖

A. 示差熱分析

(1) 凝固現象の研究 冷却曲線を次の 2 つの種類合金群に就いて採つた。その 1 つは  $Cu \cdot Al$  側に平行な 7 つの斷面上の合金即ち 1, 2, 4, 6, 10, 12 及び 20%  $Si$  を含有し  $Cu$  の量を必要に應じて 1% 宛或はそれ以上増減せしめた種類である。他の種類は  $Cu \cdot Si$  側に平行なる 5 つの斷面上の合金即ちアルミニウム含有量を 1, 2, 3, 4, 及び 6% の如く一定に保ち  $Cu \cdot Si$  量を 1% 宛増減せしものである。尙此外に特別に必要と認められる合金に就いても熱分析を行つたのである。熱分析の結果は第 9~21 表に掲載してある。表中第 9 表より第 15 表迄は第 1 類に屬する合金群即ち  $Cu \cdot Al$  側に平行な斷面上の合金であつて TSA Series と記號して置いた。又第 16 表より第 20 表迄は  $Cu \cdot Si$  側に平行なる斷面上の合金の熱分析結果で T. Series と記號してある。第 21 表は此等以外の合金に就いての結果である。尙以上の結果より斷面状態圖を作製すれば第 15~26 圖が得られる。圖中此等 熱分析の結果を  $\circ$  なる記號を以て表はしてある。

第 9 表 TSA 1 Series.

試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度				試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度				
	Cu %	Si %	Al %	°C					Cu %	Si %	Al %	°C				
TSA 107	91.96	1.07	Rest	1,028	—	—	—	TSA 121	78.10	1.02	Rest	946	910	830	746	680
" 109	89.46	1.25	"	1,019	518	—	—	" 122	76.78	1.14	"	930	920	838	742	722
" 110	88.77	1.16	"	1,020	508	—	—	" 123	75.86	1.27	"	916	840	735	—	—
" 111	87.80	1.19	"	1,027	572	512	—	" 124	75.12	1.30	"	894	844	714	572	—
" 112	86.54	1.15	"	1,032	510	—	—	" 125	73.88	1.19	"	876	697	580	—	—
" 113	85.85	1.03	"	1,028	—	518	—	" 126	73.11	1.04	"	868	690	600	580	—
" 114	84.80	1.09	"	1,026	950	880	—	" 127	71.86	1.24	"	838	650	610	590	570
" 115	83.63	1.25	"	1,021	980	—	—	" 128	70.73	1.26	"	824	638	606	596	568
" 116	82.43	1.01	"	1,016	930	—	—	" 130	68.89	1.28	"	788	606	603	570	558
" 117	81.85	1.17	"	1,002	926	845	—	" 132	66.87	1.28	"	751	610	608	571	558
" 118	80.38	1.02	"	996	844	820	770	" 133	65.51	1.33	"	733	610	571	556	—
" 119	79.59	1.26	"	990	920	850	770	" 135	63.95	1.08	"	710	615	580	556	—
" 120	78.82	0.99	"	968	916	846	746									

\* 各相に對する記號は著者のそれと異なるが便宜上其儘を轉載する

第10表 TSA 2 Series.

\* 配合のみ

試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度				試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度				
	Cu%	Si%	Al%	°C					Cu%	Si%	Al%	°C				
TSA 206	92.11	2.05	Rest	1,016	—	—	—	TSA 221	76.95	2.09	Rest	923	840	756	748	688
" 208*	90	2	"	1,008	—	—	—	" 222	76.05	2.00	"	907	846	752	679	—
" 210	87.71	2.01	"	1,016	—	520	—	" 223	75.20	2.03	"	885	744	570	—	—
" 211	86.82	2.17	"	1,020	—	518	—	" 224	73.77	2.20	"	875	730	680	582	—
" 212	85.88	1.92	"	1,009	910	520	—	" 225	73.00	1.98	"	835	727	670	590	—
" 213	84.92	2.24	"	1,008	946	—	—	" 226	71.95	2.14	"	818	730	650	600	599
" 214	83.91	2.05	"	959	980	—	—	" 227*	71	2	"	810	690	606	570	—
" 215	82.91	1.69	"	990	780	—	—	" 228	70.25	2.11	"	785	675	602	562	—
" 216	82.00	2.03	"	988	770	—	—	" 229	68.80	2.15	"	772	640	595	557	—
" 217	81.28	2.03	"	988	816	760	—	" 230*	68	2	"	764	630	606	594	575
" 218	80.17	1.85	"	975	832	762	—	" 231	66.82	2.21	"	738	609	600	568	—
" 219	79.39	1.80	"	955	923	843	762	" 232	66.02	1.87	"	718	618	605	—	570
" 220	78.39	1.73	"	935	843	758	—									

第11表 TSA 4 Series.

\* 配合のみ

試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度				試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度				
	Cu%	Si%	Al%	°C					Cu%	Si%	Al%	°C				
TSA 405	91.10	4.12	Rest	994	960	700	—	TSA 417	79.05	4.31	Rest	950	770	—	—	—
" 406	86.97	4.03	"	984	756	666	—	" 418*	78	4	"	930	763	—	—	—
" 407	88.66	4.26	"	985	686	652	—	" 419	77.14	4.28	"	920	762	—	—	—
" 408	88.06	4.23	"	987	595	572	—	" 420	75.73	4.28	"	900	758	—	—	—
" 409	87.05	4.25	"	993	555	—	—	" 421	74.92	3.87	"	886	853	758	753	—
" 410	86.17	4.26	"	991	540	—	—	" 422*	74	4	"	872	753	—	—	—
" 411	84.97	4.18	"	987	522	—	—	" 423	72.91	4.00	"	864	750	—	—	—
" 412	84.28	4.00	"	978	937	—	—	" 424	71.95	3.92	"	838	740	—	—	—
" 413	82.98	4.01	"	977	790	—	—	" 425	70.96	4.15	"	830	736	650	574	564
" 414	82.11	3.89	"	975	772	—	—	" 426*	70	4	"	818	728	610	600	574
" 415	80.96	3.90	"	967	780	—	—	" 428	68.13	4.03	"	780	695	608	565	—
" 416	79.65	4.23	"	963	780	—	—	" 430	66.09	4.21	"	740	672	608	598	570

第12表 TSA 6 Series.

\* 配合のみ

試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度				試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度				
	Cu%	Si%	Al%	°C					Cu%	Si%	Al%	°C				
CS 7	Rest	6.42	—	919	850	784	—	TSA 611	83.35	5.56	Rest	896	751	510	—	—
TSA 601	93.15	5.59	Rest	927	871	810	766	" 612	82.41	5.48	"	890	760	—	—	—
" 602	92.28	5.79	"	914	897	781	—	" 613	81.50	5.53	"	884	767	—	—	—
" 603	91.33	5.49	"	914	759	747	—	" 615*	79	6	"	862	772	—	—	—
" 604	90.16	5.62	"	907	678	656	480	" 618*	76	6	"	846	760	—	—	—
" 605	89.18	5.76	"	917	684	656	490	" 620	74.08	5.88	"	835	750	669	—	—
" 606	88.30	5.63	"	915	641	480	—	" 623	70.68	5.90	"	800	732	662	600	550
" 607	87.13	5.80	"	912	858	—	—	" 625*	69	6	"	775	730	610	590	—
" 608	86.42	5.58	"	910	874	—	—	" 629*	65	6	"	716	706	599	588	562
" 609	85.41	5.67	"	905	896	750	568	" 630*	64	6	"	697	658	600	575	563
" 610	84.32	5.71	"	897	742	538	—									

第13表 TSA 10 Series.

\* 配合のみ

試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度				試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度				
	Cu%	Si%	Al%	°C					Cu%	Si%	Al%	°C				
CS 10	Rest	9.97	—	825	820	710	—	TSA1,010	80.03	10.31	Rest	756	—	—	—	—
TSA1,001	89.10	10.05	Rest	822	620	—	—	" 1,011	79.30	10.05	"	762	750	—	—	—
" 1,002	87.93	9.89	"	816	814	676	—	" 1,012	78.08	10.18	"	770	758	—	—	—
" 1,003	87.04	10.11	"	817	806	666	—	" 1,013*	77	10	"	778	762	—	—	—
" 1,004	85.95	9.87	"	822	804	630	—	" 1,014*	76	10	"	780	768	—	—	—
" 1,005	85.00	10.21	"	830	790	740	570	" 1,015	75.21	10.26	"	788	780	—	—	—
" 1,006	83.88	10.00	"	814	758	725	577	" 1,020*	70	10	"	812	763	—	—	—
" 1,008	82.15	10.23	"	790	734	725	580	" 1,025*	65	10	"	805	740	605	560	—
" 1,009*	81	10	"	778	740	—	—	" 1,030*	60	10	"	796	701	607	572	—

第 14 表 TSA 12 Series.

\* 配合のまゝ

試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度 °C					試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度 °C				
	Cu%	Si%	Al%							Cu%	Si%	Al%					
CS 12	Rest	11.33	—	847	820	700	—	—	TSA1,208*	80	12	Rest	770	744	578	528	—
TSA1,200.5	88.08	11.41	Rest	847	652	—	—	—	// 1,210*	78	12	//	777	756	570	528	—
// 1,201	87.13	11.81	//	837	814	659	—	—	// 1,212*	76	12	//	806	767	—	—	—
// 1,202	86.58	11.37	//	829	807	638	—	—	// 1,215*	73	12	//	824	774	—	—	—
// 1,203*	85	12	//	798	786	727	626	571	// 1,220*	63	12	//	836	760	—	—	—
// 1,204*	84	12	//	764	727	620	568	—	// 1,225*	63	12	//	824	731	561	—	—
// 1,205	83.69	11.43	//	735	727	578	536	—	// 1,230*	58	12	//	806	681	608	572	553
// 1,206	82.63	11.30	//	729	727	578	536	—	// 1,235*	53	12	//	792	648	608	578	—
									// 1,240*	48	12	//	767	583	572	—	—

第 15 表 TSA 20 Series.

試料番號	成分配合			變化並に轉移溫度 °C					試料番號	成分配合			變化並に轉移溫度 °C				
	Cu%	Si%	Al%							Cu%	Si%	Al%					
CS 20	80	20	—	908	800	—	—	—	TSA2,040	40	20	Rest	875	570	525	—	—
TSA2,005	75	20	Rest	926	760	730	—	—	// 2,050	30	20	//	827	549	522	—	—
// 2,010	70	20	//	984	760	750	—	—	// 2,060	20	20	//	778	525	—	—	—
// 2,015	65	20	//	970	770	—	—	—	// 2,070	10	20	//	730	556	522	—	—
// 2,020	60	20	//	968	760	742	565	—	// 2,075	5	20	//	755	564	522	—	—
// 2,025	55	20	//	955	760	742	570	—	AS 20	0	20	//	678	579	—	—	—
// 2,030	50	20	//	935	710	608	570	—									

第 16 表 T 1 Series.

\* 配合のまゝ

試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度 °C					試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度 °C				
	Al%	Si%	Cu%							Al%	Si%	Cu%					
T 14	Rest	3.88	94.95	995	850	—	—	—	T 110	Rest	9.72	89.26	824	820	816	688	619
// 15	//	4.72	94.24	966	859	817	—	—	// 110.5	//	10.5	88.5	821	816	749	691	615
TSA 601	//	5.59	93.15	927	871	810	766	—	// 111	//	10.84	88.12	826	817	691	581	—
T 16.5	//	6.10	92.79	914	865	817	769	—	// 111.5	//	11.36	87.54	835	817	687	—	—
// 17	//	6.63	92.34	883	874	787	767	650	TSA1,201	//	11.81	87.13	837	814	659	—	—
// 17.5	//	7.21	91.55	862	768	760	651	—	T 112.5*	//	12.5	86.5	836	570	—	—	—
// 18	//	7.98	90.77	845	757	650	—	—	// 113.5	//	13.19	85.76	826	760	637	582	—
// 18.5	//	8.33	90.51	831	824	650	—	—	// 115	//	15	84	808	781	—	—	—
// 19	//	8.78	90.11	825	618	—	—	—	// 117	//	17	82	806	787	—	—	—
// 19.5	//	9.07	89.77	824	688	—	—	—									

第 17 表 T 2 Series.

\* 配合のまゝ

試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度 °C					試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度 °C				
	Al%	Si%	Cu%							Al%	Si%	Cu%					
TSA 602	Rest	5.79	92.28	914	897	781	—	—	T 210.5*	Rest	10.5	87.5	818	814	676	—	—
T 27	//	6.87	90.95	885	749	576	—	—	// 211*	//	11	87	819	810	650	—	—
// 27.5	//	7.25	90.67	883	856	746	576	—	TSA 1,202	//	11.37	86.58	820	807	638	—	—
// 28	//	8.03	89.86	856	732	588	—	—	T 212*	//	12	86	820	570	—	—	—
// 28.5	//	8.42	89.39	839	824	577	—	—	T 213	//	12.75	85.09	815	732	—	—	—
// 29	//	8.71	89.11	826	818	549	—	—	// 215*	//	15	83	782	767	727	—	—
// 29.5	//	9.11	88.78	824	816	670	—	—	// 216*	//	16	82	781	727	—	—	—
TSA 1,002	//	9.89	87.93	816	814	676	—	—	// 217*	//	17	81	784	727	—	—	—

第 18 表 T 3 Series.

\* 配合のまゝ

試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度 °C					試料番號	成分分析			變化並に轉移溫度 °C				
	Al%	Si%	Cu%							Al%	Si%	Cu%					
TSA603	Rest	5.49	91.33	914	759	747	—	—	T 312	Rest	11.28	85.84	798	726	626	571	—
T 37	//	6.52	90.43	889	866	781	726	490	// 313	//	12.73	84.9	799	740	727	—	—
// 38	//	7.47	89.62	860	829	720	—	490	// 313.5*	//	13.5	83.5	795	741	728	—	—
// 39	//	8.63	88.12	842	746	—	—	—	// 314*	//	14	83	785	763	739	727	—
// 310	//	9.71	87.07	820	808	664	641	—	// 315*	//	15	82	787	758	736	727	—
// 311	//	10.67	86.30	805	631	590	—	—	// 315.5*	//	15.5	81.5	799	766	757	727	—

第 19 表 T 4 Series.

\* 配合のまま

試料番号	成分分析			変化並に轉移溫度				試料番号	成分分析			変化並に轉移溫度				
	Al%	Si%	Cu%	°C					Al%	Si%	Cu%	°C				
T 45	Rest	4.63	91.50	950	710	—	—	T 410	Rest	9.65	86.16	826	816	796	633	—
TSA604	"	5.62	90.16	907	678	656	480	" 411	"	10.86	85.26	786	727	548	—	—
T 47	"	6.54	89.35	882	684	—	—	TSA 1,204*	"	12	84	767	727	620	568	—
" 48	"	7.63	88.30	860	844	—	—	T 414	"	13.48	82.60	733	727	—	—	—
" 49	"	8.50	87.19	844	808	—	—									

第 20 表 T 6 Series.

\* 配合のまま

試料番号	成分分析			変化並に轉移溫度				試料番号	成分分析			変化並に轉移溫度				
	Si%	Cu%	Al%	°C					Si%	Cu%	Al%	°C				
TSA 206	2.05	92.11	Rest	1,016	—	—	—	T 609*	9.00	85.00	Rest	842	754	726	578	—
T 604	3.88	90.04	"	991	756	660	—	TSA 1,006	10.00	83.88	"	814	758	725	577	—
" 605	4.67	89.17	"	960	650	—	—	T 611	10.62	83.16	"	783	728	579	528	—
" 606	6.01	87.95	"	912	641	480	—	TSA 1,2061	1.30	82.63	"	729	727	578	536	—
" 607	6.58	87.55	"	904	848	546	523 456	T 614*	14.00	80.00	"	762	731	—	—	—
" 608*	8.00	86.00	"	856	611	524	—									

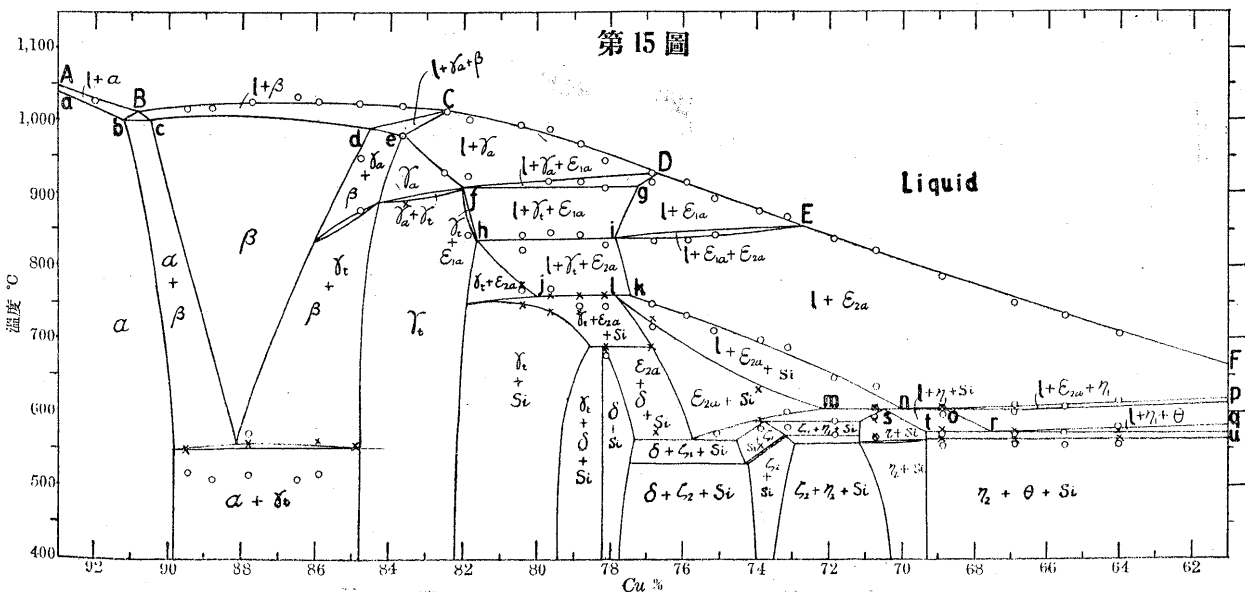
第 21 表

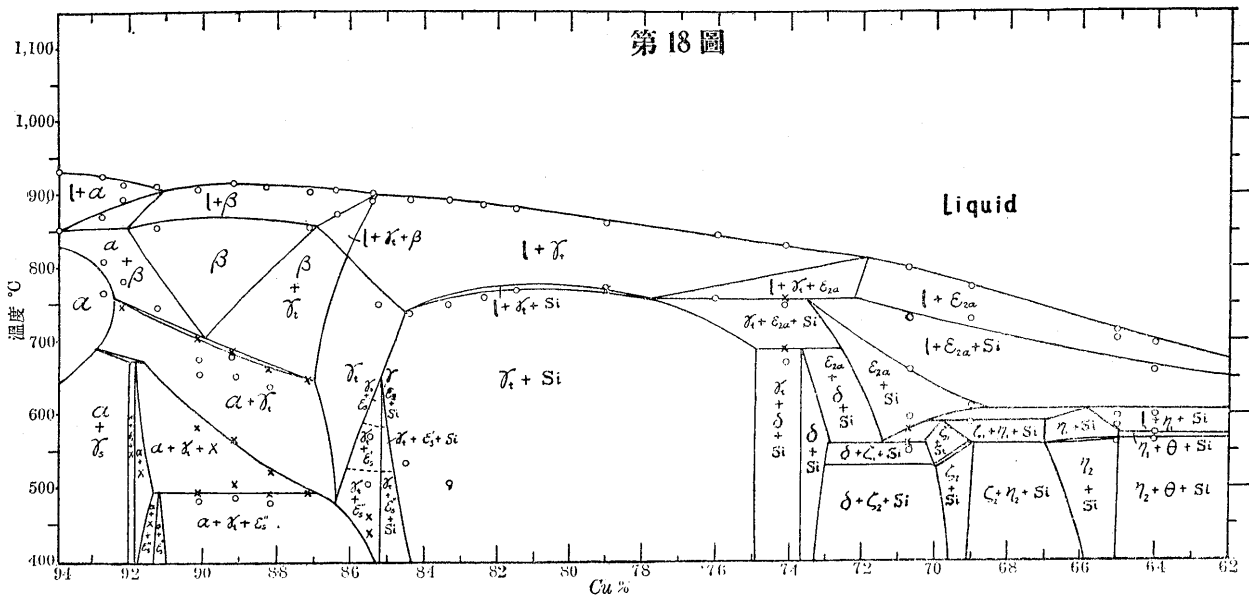
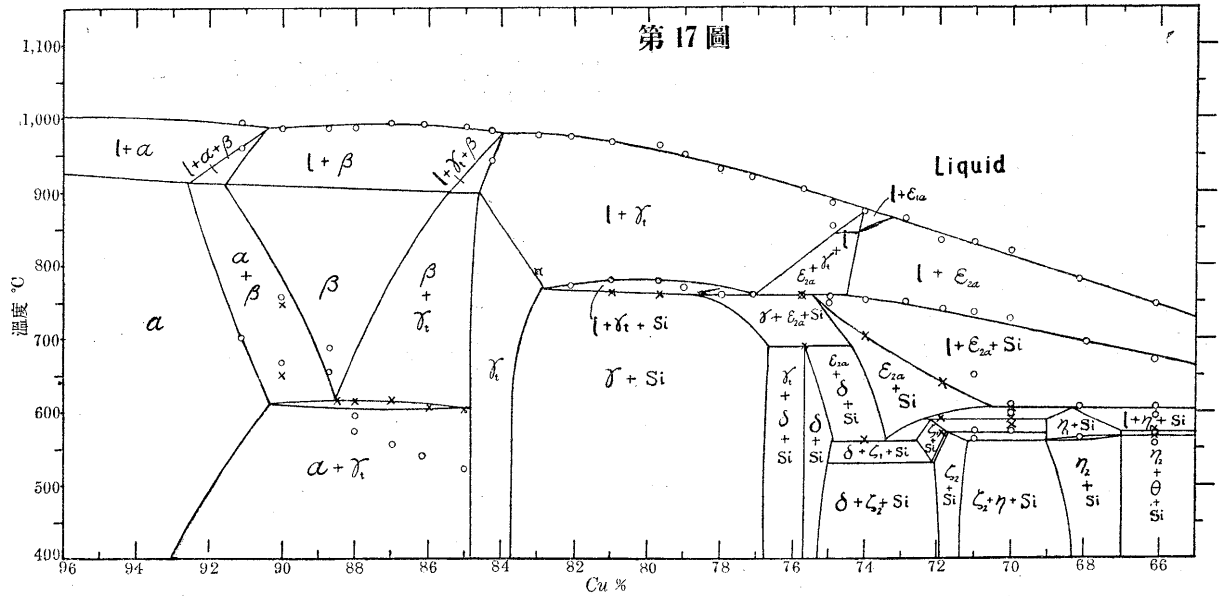
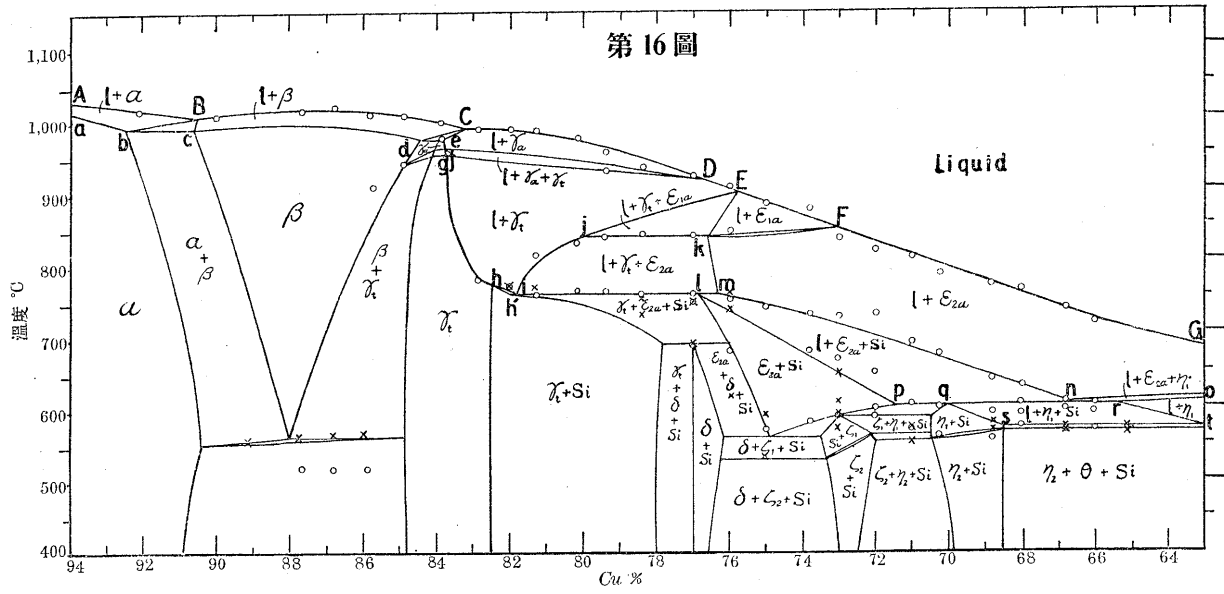
\* 配合のまま

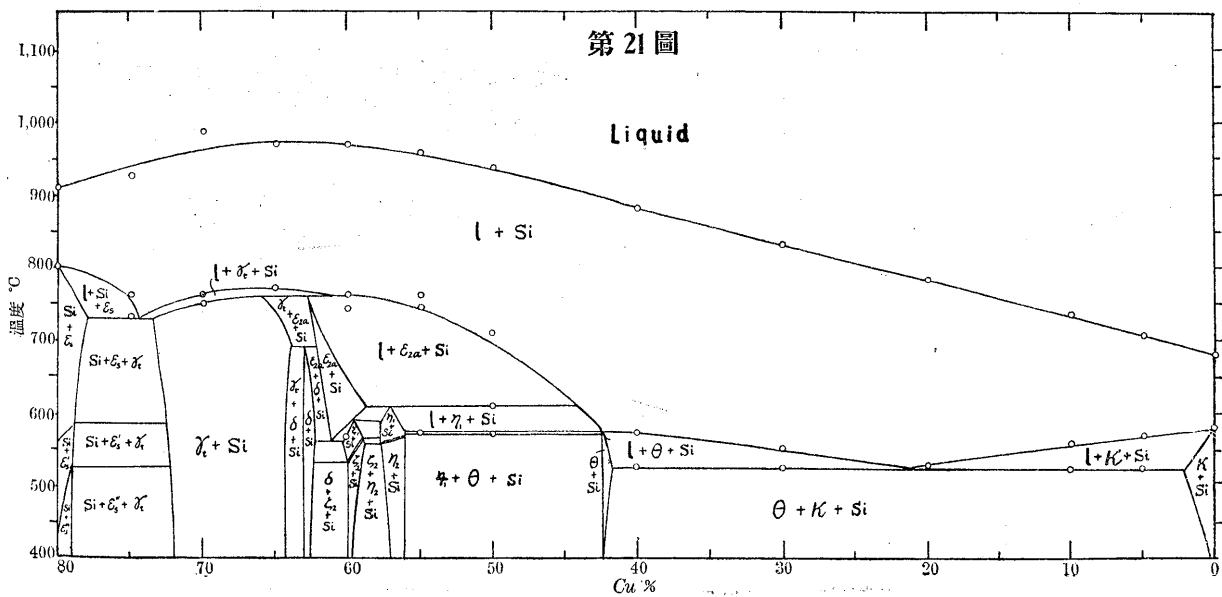
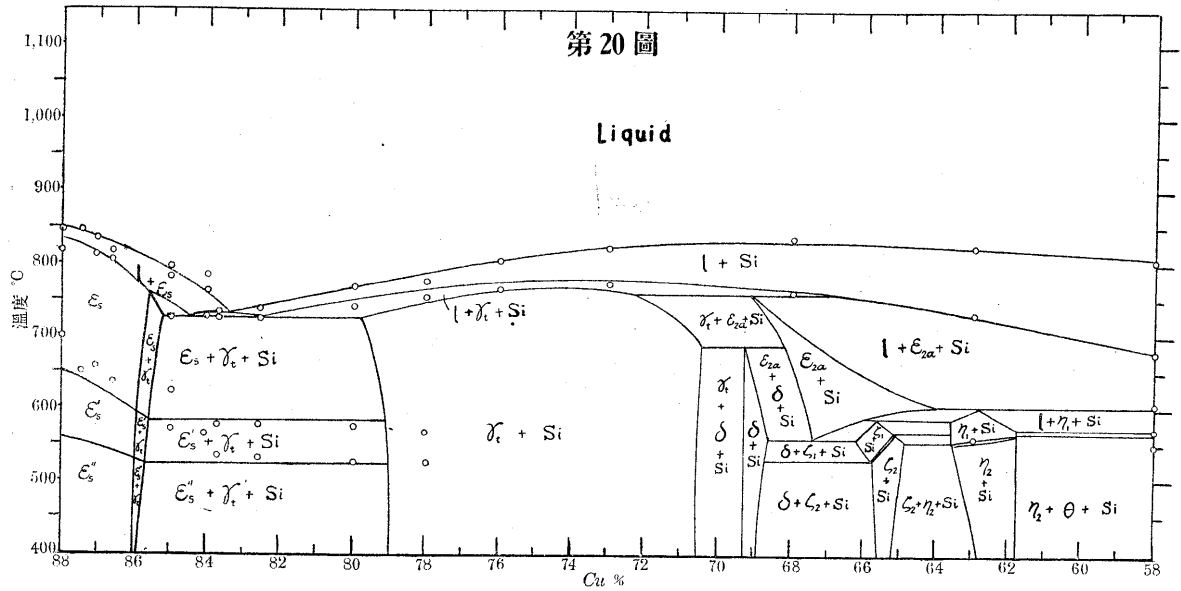
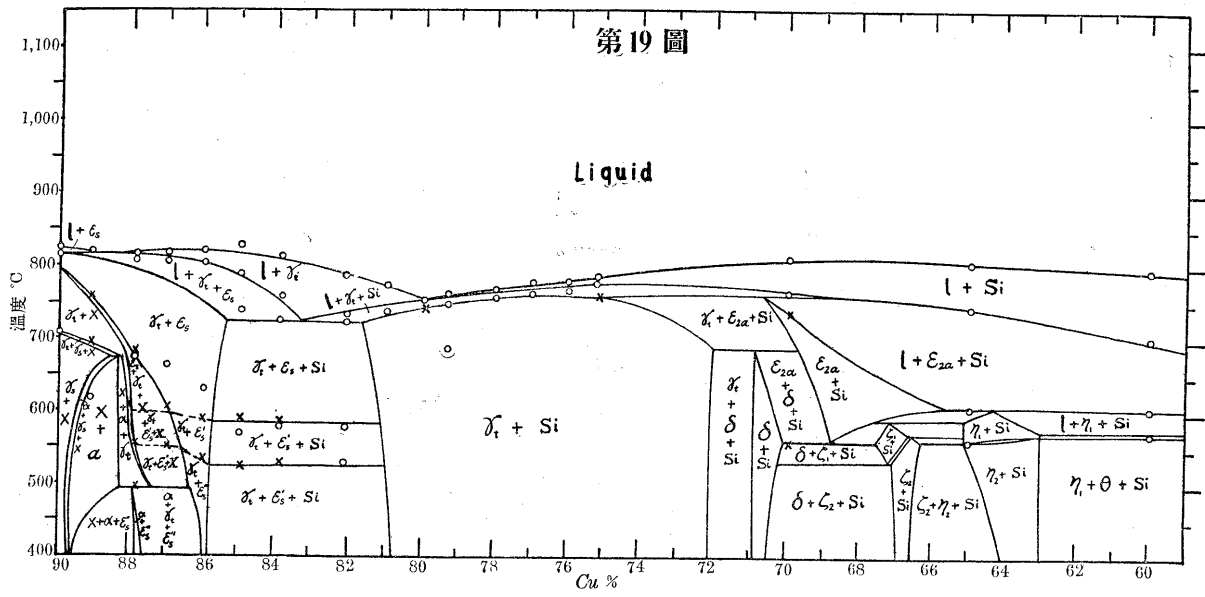
試料番号	成分分析			変化並に轉移溫度				試料番号	成分分析			変化並に轉移溫度				
	Si%	Cu%	Al%	°C					Si%	Cu%	Al%	°C				
TSA 312	3.26	84.63	Rest	985	975	—	—	TSA 710*	7.0	83.0	Rest	884	741	529	—	—
" 313	3.17	83.83	"	983	980	—	—	" 711*	7.0	82.0	"	867	755	748	516	—
" 314	3.04	82.91	"	978	—	—	—	" 807*	8.0	85.0	"	859	727	587	526	—
" 705*	7.0	88.0	"	896	840	—	—	" 808*	8.0	84.0	"	856	734	580	527	—
" 707*	7.0	86.0	"	875	696	600	546 526	" 809*	8.0	83.0	"	859	738	569	534	—
" 708*	7.0	85.0	"	869	731	586	527	" 810*	8.0	82.0	"	848	748	744	—	—
" 709*	7.0	84.0	"	885	733	581	526	" 907*	9.0	84.0	"	840	727	577	546	—

以上の断面状態図は熱分析の外顕微鏡組織を検べて作製したのであるが此 3 元系には 3 元化合物が存在せず各 2 元系に存在する各相が平衡関係にあることを知った。3 元系に於ける各相の記號を右の如く現すことにする。即ち Cu-Al 系の  $\alpha, \beta$  相は Cu-Si 系の  $\alpha, \beta$  相と夫々連続固溶體をなして居る故單に  $\alpha, \beta$  とした又 Cu-Al 系の  $\gamma_1$  相と Cu-Si 系の  $\delta$  相と連続固溶體をなして居るを以て  $\gamma_t$

3 元系の記號	Cu-Al 系の記號 (第 11 圖)	Cu-Si 系の記號 (第 13 圖)
$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
$\beta$	$\beta$	$\beta$
$\gamma_t$	$\gamma_1$	$\delta$
$\gamma_a$	$\gamma_2$	—
$\gamma_s$	—	$\gamma$
$\delta$	$\delta$	—
X	—	X
$\epsilon_{1a}, \epsilon_{1b}, \epsilon_{1c}, \epsilon_{1d}, \epsilon_{1e}, \epsilon_{1f}, \epsilon_{1g}, \epsilon_{1h}, \epsilon_{1i}, \epsilon_{1j}, \epsilon_{1k}, \epsilon_{1l}, \epsilon_{1m}, \epsilon_{1n}, \epsilon_{1o}, \epsilon_{1p}, \epsilon_{1q}, \epsilon_{1r}, \epsilon_{1s}, \epsilon_{1t}, \epsilon_{1u}, \epsilon_{1v}, \epsilon_{1w}, \epsilon_{1x}, \epsilon_{1y}, \epsilon_{1z}$	$\epsilon_1, \epsilon_2$	$\epsilon, \epsilon', \epsilon''$
$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4, \zeta_5, \zeta_6, \zeta_7, \zeta_8, \zeta_9, \zeta_{10}, \zeta_{11}, \zeta_{12}, \zeta_{13}, \zeta_{14}, \zeta_{15}, \zeta_{16}, \zeta_{17}, \zeta_{18}, \zeta_{19}, \zeta_{20}$	$\zeta_1, \zeta_2$	—
$\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5, \eta_6, \eta_7, \eta_8, \eta_9, \eta_{10}, \eta_{11}, \eta_{12}, \eta_{13}, \eta_{14}, \eta_{15}, \eta_{16}, \eta_{17}, \eta_{18}, \eta_{19}, \eta_{20}$	$\eta_1, \eta_2$	—
$\theta$	$\theta$	—







として現して置いた。今二三の断面状態圖に就いて説明すれば第 15 圖は  $Si$  1% を含む  $Al-Cu$  2 元系に平行なる状態にして初晶線は 5 つより成つて居る。即ち  $AB$  は  $\alpha$  晶の晶出線を示し  $BC$  は  $\beta$  の  $CD, DE, EF$  は夫々  $\gamma_a, \epsilon_{1a}$  及び  $\epsilon_{2a}$  の初晶線を示す。2 次晶出曲線  $bBc$  は  $\alpha+\beta$  共晶の晶出を示す。同様に  $dCe$  は  $\beta+\gamma_a, fDg$  は  $\gamma_a+\epsilon_{1a}, gi$  は  $\epsilon_{1a}+\gamma_t, iE$  は  $\epsilon_{1a}+\epsilon_{2a}, ik$  は  $\epsilon_{2a}+\gamma_t, kn$  は  $\epsilon_{2a}+Si, np$  は  $\epsilon_{2a}+\eta_1, op$  は  $\eta_1+\epsilon_{2a}, or$  は  $\eta_1+Si, rq$  は  $\eta_1+\theta$  の晶出曲線を示して居る。

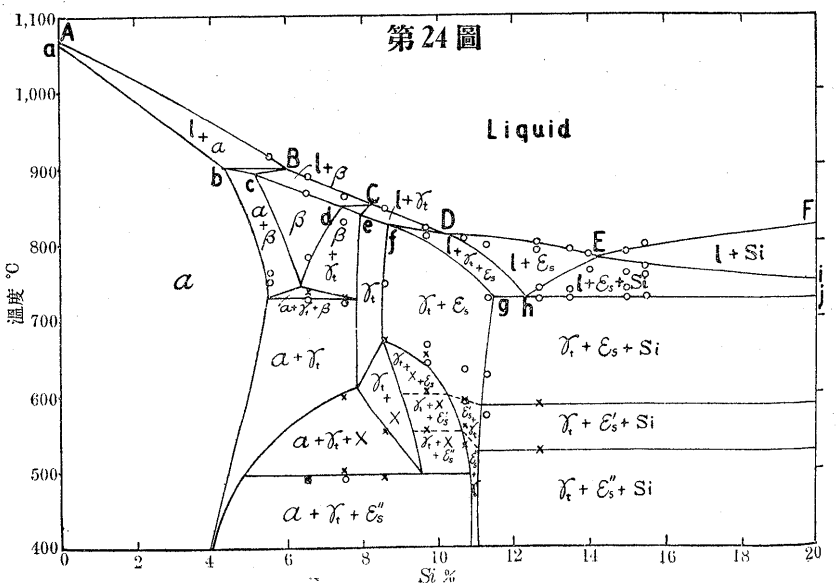
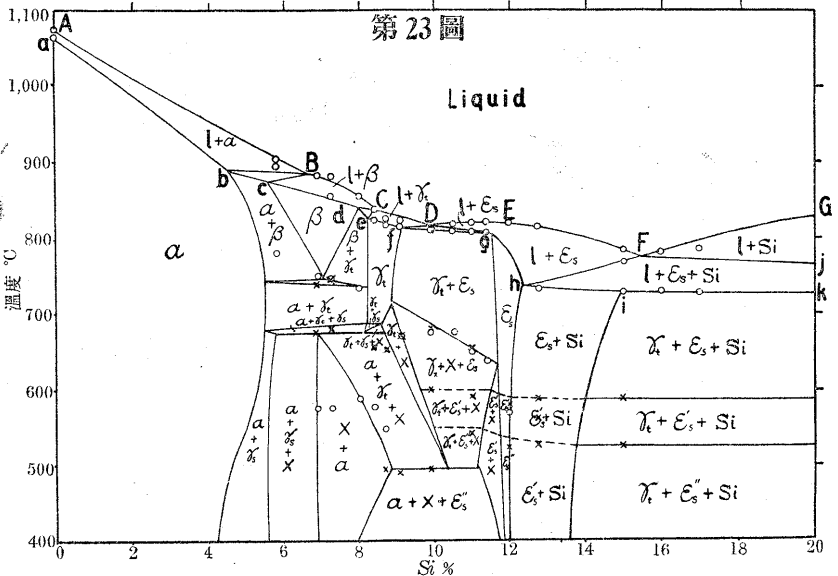
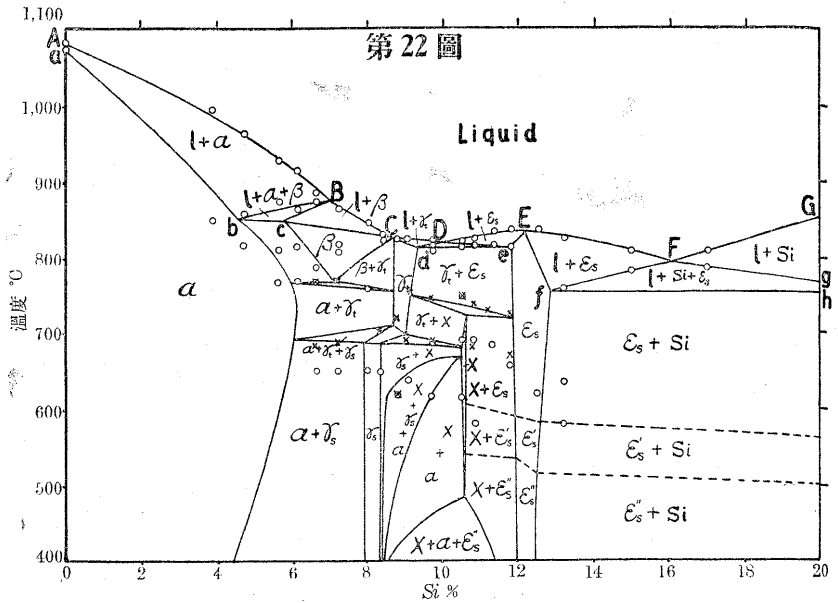
$ab, bc, cd, ef, fh, hj, lm$  及び  $st$  曲線は夫々  $\alpha, \alpha+\beta, \beta, \beta+\gamma_a, \gamma_a, \gamma+\epsilon_{1a}, \gamma_t+\epsilon_{2a}, \epsilon_{2a}+Si$  及び  $\eta_1+Si$  の固相線を示す。此状態圖より凝固に際して 5 つの不変系反応の存在することを知つた。此等の反応に與る各相並に反應温度は次の如きものである。

反應温度°C	反 應
fg 910°	熔態 + $\gamma_a \rightleftharpoons \gamma_t + \epsilon_{1a}$
hi 840°	熔態 + $\epsilon_{1a} \rightleftharpoons \gamma_t + \epsilon_{2a}$
jlk 760°	熔態 + $\gamma_t \rightleftharpoons \epsilon_{2a} + Si$
mn0 608°	熔態 + $\epsilon_{2a} \rightleftharpoons \eta_1 + Si$
tru 573°	熔態 + $\eta_1 \rightleftharpoons \theta + Si$

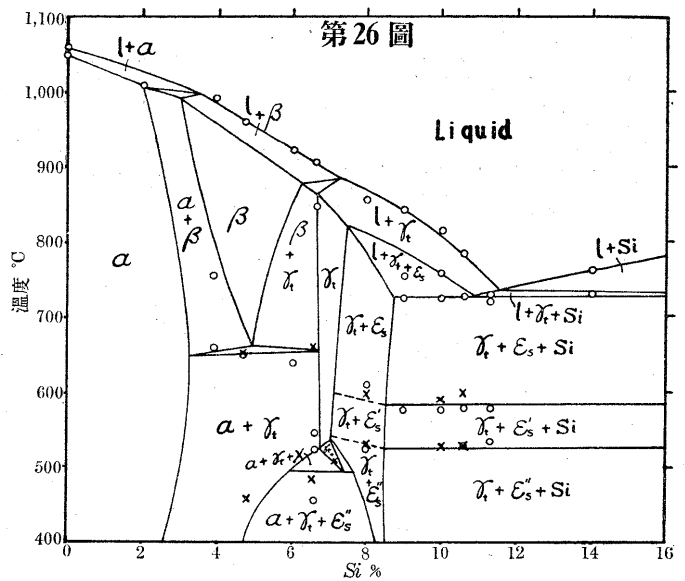
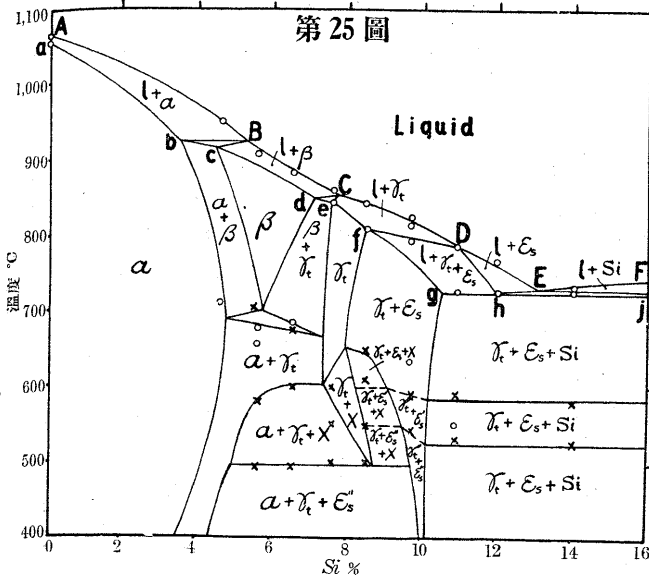
第 16 圖は 第 15 圖と同様  $Al-Cu$  2 元系に平行なる  $Si$  2% の断面状態圖にして後者と同様な形勢を示して居る。

液相線  $ABCDEFGFG$  は 6 つの部分よりなつて居る。即ち  $AB$  は  $\alpha$  の初晶晶出を現はし  $BC, CD, DE, EF, FG,$  は夫々  $\beta, \gamma_a, \gamma_t, \epsilon_{2a}, \epsilon_{2a}$  の初晶晶出曲線を現して居る。2 次晶出曲線は  $bBc, dCe, fDg,$  及び  $hij' EkFkmnort$  にて示されて居る、此等の曲線によつて示される反應は次表の如きものである。

固相線は  $abcdefghh'ilpqst$  にて現はされ、此等の中  $ab, cd, ef,$  及び  $gh$  は夫々單相  $\gamma, \beta, \gamma_a$  及び  $\gamma_t$  の固相を示







曲線 反應	曲線 反應	曲線 反應
bBc 熔態 + $\alpha \rightleftharpoons \beta$	ij 熔態 + $\gamma_t \rightleftharpoons \epsilon_{2a}$	mn 熔態 $\rightleftharpoons \epsilon_{2a} + Si$
dCe 熔態 + $\beta \rightleftharpoons \gamma_a$	jEk 熔態 + $\gamma_t \rightleftharpoons \epsilon_{1a}$	nor 熔態 + $\epsilon_{2a} \rightleftharpoons \eta_1$
fDg 熔態 + $\gamma_a \rightleftharpoons \gamma_t$	kFk 熔態 + $\epsilon_a \rightleftharpoons \epsilon_{2a}$	rt 熔態 $\rightleftharpoons \eta_1 + Si$
hi 熔態 $\rightleftharpoons \delta_t + Si$	km 熔態 + $\gamma_t \rightleftharpoons \epsilon_{2a}$	

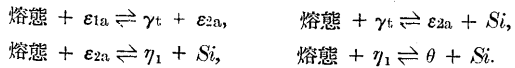
bBc 熔態 +  $\alpha \rightleftharpoons \beta$ , dCe 熔態 +  $\beta \rightleftharpoons \gamma_t$ ,  
 fDg 熔態  $\rightleftharpoons \gamma_t + \epsilon_s$ , hFi 熔態  $\rightleftharpoons \epsilon_s + Si$ .

して居る。大體第 15 圖と略同様な平衡關係を示して居るがたゞ此場合には  $\gamma_t$  相の初晶曲線が現はれて來て  $\gamma_t$  相の晶出範圍が狭くなつて來た事が目立つて居る。此現象は Al-Cu 銅 2 元系に於ける不變系反應  $\gamma_a \rightleftharpoons \gamma_t + \beta$  なる共析反應が Si の少量の添加によつて急激に上昇し後述の 3 元包晶反應 (熔態 +  $\gamma_a + \beta \rightleftharpoons \gamma_t$ ) に參與するためであつて尙 Si を添加すると  $\gamma_a$  相の初晶出面を減少させ  $\gamma_t$  相の初晶出面が増大し Si の含有量が 4% 以上になると最早  $\gamma_a$  の初晶出面は存在しなくなり  $\gamma_t$  相の初晶面のみとなる第 17 圖は此關係を明かに示して居る。

固相線は abcdefghik にして此等の中 ab, cd, ef, gh は  $\alpha, \beta, \gamma_t, \epsilon_s$  相の固相を示し bc, de, fg, hi, は夫々  $\alpha + \beta, \beta + \gamma_t, \gamma_t + \epsilon_s, \epsilon_s + Si$  の固相を示す。

第 16 圖に於ける曲線 bc, de, fg, hh', lp, qs は夫々  $\alpha + \beta, \beta + \gamma_a, \gamma_a + \gamma_t, \gamma_t + Si, \epsilon_{2a} + Si, \eta_1 + Si$  なる共存 2 相の固相を現して居る。水平直線 jk, h'm, pr 及び st は夫々次の如き不變系反應を示す。

水平直線 ik は 熔態  $\rightleftharpoons \gamma_t + \epsilon_s + Si$  なる 3 元共晶反應を示し此温度は 727°C である。



Al を 3% 及び 4% 含む状態圖即ち第 24 圖及び第 25 圖は前記 1~2% のものと多少異つて居る。殊に Al 3% 以上になると  $\epsilon_s$  相の初晶領域が消失し固相間に於ても  $\epsilon_s$  單相の範圍が存在しない。兩圖に於て液相線は次の如きである。

尙第 17~21 圖は前記 2 状態圖と同様な平衡關係を示して居る故説明を省略する。

初晶出曲線

AB: 銅( $\alpha$ 相) BC:  $\beta$ 相 CD:  $\gamma_t$ 相 DE:  $\epsilon_s$ 相 EF: Si

第 22 及び 23 圖は Cu, Si 2 元系状態圖に平行なる Al 1 及び 2% を含む断面圖にして兩者とも略同じ様な關係を示して居る。たゞ後者は前者より不變系反應を示す水平直線 ik を餘計に有して居るのみである。第 23 圖に就いて説明すれば ABCDEFG は  $\alpha, \beta, \gamma_t, \epsilon_s, Si$  等の初晶出曲線である。2 次晶曲線並に反應は次の如きものである

bBc, dCe, fD 及び hEi は夫々 2 次晶出、熔態 +  $\alpha \rightleftharpoons \beta$ , 熔態 +  $\beta \rightleftharpoons \gamma_t$ , 熔態  $\rightleftharpoons \gamma_t + \epsilon_s$  及び 熔態  $\rightleftharpoons \epsilon_s + Si$  を現はす。固相線は第 23 圖と同様であるが ghj は前記の 3 元共晶反應を示す水平直線である。第 26 圖は 6% Al を含有する合金の状態圖にして第 25 圖と同様な關係が成立して居ることを知る。

以上の擬固間に於ける熱分析の結果を綜合し顯微鏡試験より第 27 圖及び第 28 圖の平衡状態圖を得た。第 27 圖は Cu 側の平衡關係を示したものであり第 28 圖は Al, Cu 合金の  $\gamma_a, \gamma_t, \epsilon_{1a}, \epsilon_{2a}, Si$  及び  $\beta$  相間の平衡關係を主として示したものである Cu-Al, Cu-Si 2 元系側に記入してある記號は總て第 11 圖及び第 13 圖の記號と同一である此等兩圖より  $\alpha, \beta, \gamma_a, \gamma_t, \epsilon_s, \epsilon_{1a}, \epsilon_{2a}$ , 及び Si の初晶面

は夫々  $ABB'$ ,  $BB'C'O_2D$ ,  $DO_2O_3E$ ,  $O_2O_3O_5$ ,  $y$ ,  $\theta$ ,  $D'$ ,  $C'$ ,  $D'O_1F'$ ,  $EO_3O_4F$ ,  $FO_4O_5$  及び  $F'\theta_1\theta_5$  である。 $\gamma_a$  の初晶面は第 28 圖の  $DO_2O_3E'$  の如く  $Cu$ ,  $Al$  2 元系側に極く接近して存在し狭い領域を有して居る。此範圍に於ける 1 變系反應線は第 22 表の如くである。

第 22 表

反 應	曲線	反 應
2 元共晶線	$Bx$	熔態 $\rightleftharpoons \alpha(Lx_1) + \beta(Mx)$
" 包晶線	$xB'$	" $+ \alpha(x, H') \rightleftharpoons \beta(xI')$
" "	$DO_2$	" $+ \gamma_a(O4) \rightleftharpoons \beta(N3)$
" "	$O_2C'$	" $+ \beta(3C') \rightleftharpoons \gamma_t(5C')$
" "	$O_2O_3$	" $+ \gamma_a(46) \rightleftharpoons \gamma_t(56)$
" "	$EO_3$	" $+ \gamma_a(P6) \rightleftharpoons \epsilon_{1a}(Q7)$
" "	$O_3O_4$	" $+ \gamma_t(68) \rightleftharpoons \epsilon_{1a}(79)$
" "	$FO_4$	" $+ \epsilon_{1a}(R9) \rightleftharpoons \epsilon_{2a}(R9)$
" "	$O_4O_5$	" $+ \gamma_t(810) \rightleftharpoons \epsilon_{2a}(911)$
" 共晶線	$yO_5$	" $\rightleftharpoons \gamma_t(z10) + Si$
" "	$yO_1$	" $\rightleftharpoons \gamma_t(z2) + Si$
" "	$D'O_1$	" $\rightleftharpoons \gamma_t(D'2) + \epsilon_s(J'1)$
" "	$F'O_1$	" $\rightleftharpoons \epsilon_s(K'1) + Si$

第 22 表中の  $Bx$ ,  $xB'$  曲線に就いて次の事實を知つた即ち  $Cu$ ,  $Al$  2 元系合金の共晶反應、熔態  $\rightleftharpoons \alpha + \beta$ , が  $Si$  の添加に従ひ其溫度が次第に降下し  $Bx$  の如き形勢をとる。 $x$  は轉移點にして  $x$  より溫度降下するに従ひ 2 元包晶反應、熔態  $+ \alpha \rightleftharpoons \beta$ , を行ひ  $Cu$ ,  $Si$  2 元系の包晶點  $B'$  と一致する。 $x_1$  點は  $x$  點に於ける共軛  $\alpha$  相の組成を示したものである。 $x$  點の決定は  $\alpha$ , 及び  $\beta$  相の共存領域と液相線の位置より行つたのであつて  $xB'$  曲線に沿ふて徐冷した試料の組織は 熔態  $+ \alpha \rightleftharpoons \beta$  なる包晶反應による enveloping を現はさない。併し  $Cu$ ,  $Si$  2 元系の 熔態  $+ \alpha \rightleftharpoons \beta$  なる包晶反應も組織的には enveloping を現はしてゐない故 3 元系の場合に於いても  $xB'$  を包晶反應と認めても差支えないと思ふ。熔態及び  $\alpha$  と共軛關係にある  $\beta$  相は  $MI'$  の如き形をとることを知つた。同様に包晶曲線  $\theta C'$ , 熔態  $+ \beta \rightleftharpoons \gamma_t$ , は  $\theta_2$  から  $Cu$ ,  $Si$  2 元系の包晶點  $C'$  に向ひ  $C'$  に合致する。即ち熔態及び  $\gamma_t$  と共軛關係にある  $\beta$  は  $3C'$  の如き形をとり此時の  $\gamma_t$  は  $5C'$  となる。

2 元共晶曲線  $\theta_1 \theta_5$  は 熔態  $\rightleftharpoons \gamma_t + Si$  なる反應をなすものであるが  $y$  點に於て極大を示し其溫度は約  $780^\circ C$  位である。 $y$  より  $\theta_1$  に向ふ共晶は  $\theta_1$  點にて 3 元共晶反應を行ひ  $y$  より  $\theta_5$  に向ふ共晶は  $\theta_5$  にて 3 元包共晶 反應をなす。

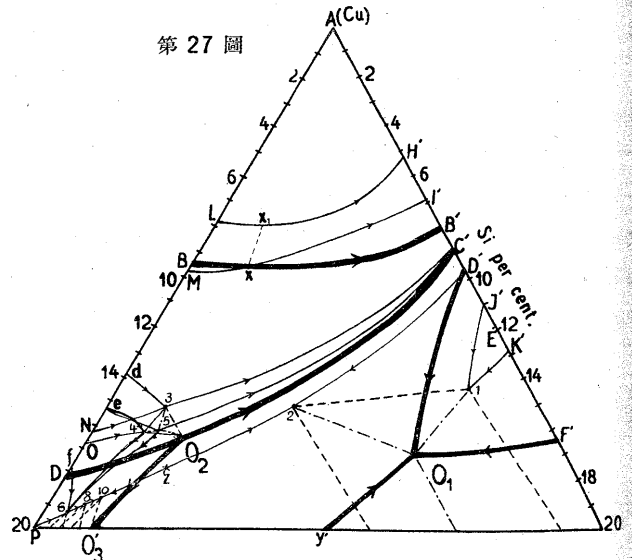
第 27, 28 圖中に於ける不變系反應を總括し不變點の組成並に反應に與かる諸相及び其範圍を示せば第 23 表の如くなる。

第 23 表

點	組 成			溫 度	反 應	範 圍
	$Cu\%$	$Al\%$	$Si\%$			
$O_1$	88	5.5	11.5	727	熔態 $\rightleftharpoons \gamma_t + \epsilon_s + Si$	1 Si 2
$O_2$	84	12.5	3.5	980	" $+ \gamma_a + \beta \rightleftharpoons \gamma_t$	3 O <sub>2</sub> 4
$O_3$	76	22.2	1.8	910	" $+ \gamma_a \rightleftharpoons \gamma_t + \epsilon_{1a}$	6 O <sub>3</sub> 7
$O_4$	73.5	22.0	4.5	840	" $+ \epsilon_{1a} \rightleftharpoons \epsilon_{2a} + \gamma_t$	8 O <sub>4</sub> 9
$O_5$	70.0	22.0	8.0	760	" $+ \gamma_t \rightleftharpoons \epsilon_{2a} + Si$	10 Si 11

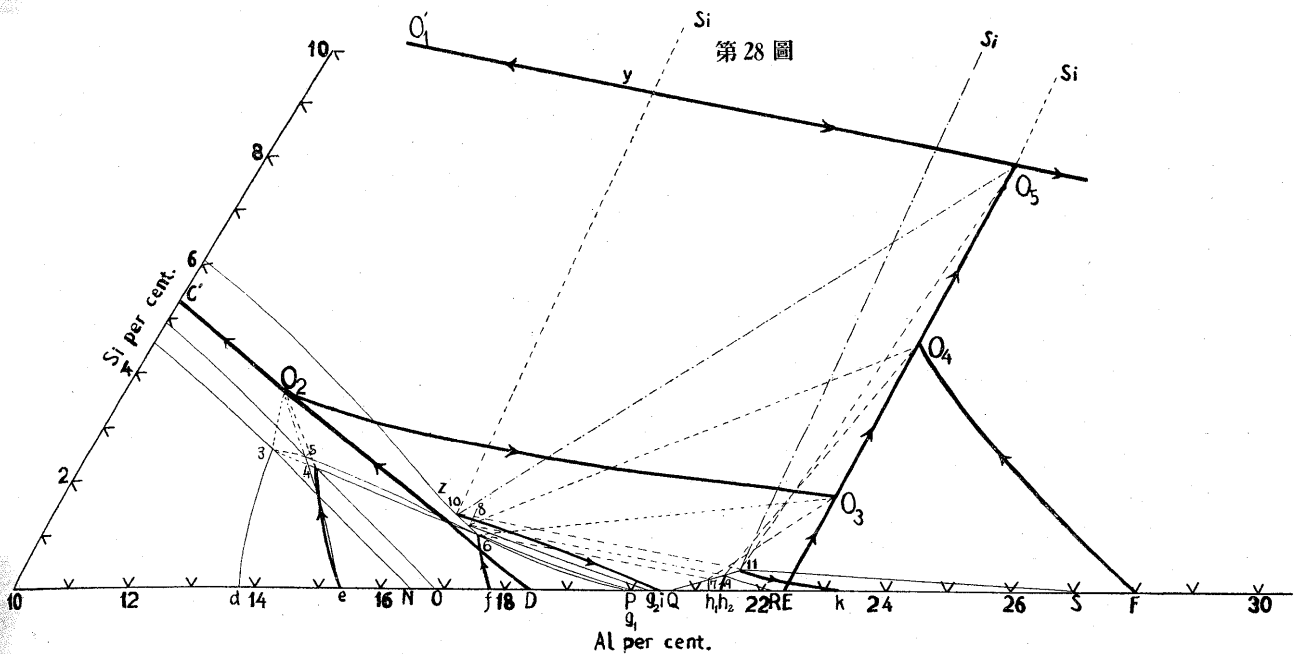
此等の中  $\theta_2$  以外の不變系反應は既に断面狀態圖によりて明かに決定されたものである。 $\theta_1$  は  $727^\circ C$  に於て 熔態  $\rightleftharpoons \gamma_t + \epsilon_s + Si$  なる 3 元共晶反應を行ふもので松山博士\* の  $\theta_2$  反應と同一であるが反應溫度は  $740^\circ C$  となつてゐて筆者より  $13^\circ C$  高く現はされて居る。此 3 元共晶反應は 1 Si 2 範圍 (第 27 圖) に於て明瞭に認められる。 $\theta_3$  及び  $\theta_4$  は

第 27 圖



3 元包晶反應を行ふもので熱分析の結果より  $910^\circ$  及び  $840^\circ C$  に不變系停止點の存在することを認め得られる。尙其等反應の起る範圍は  $6O_37$ , 及び  $8O_49$  (第 28 圖) である。 $\theta_5$  は  $760^\circ C$  に於て 熔態  $+ \gamma_t \rightleftharpoons \epsilon_{2a} + Si$  なる包共反應を行ふものである。 $\theta_2$  の存在に對しては断面狀態圖より知り得られざれども後述の固態變態の研究結果よりして  $Cu$ ,  $Al$  2 元系狀態圖 (第 811 圖) に於ける  $\theta$  點即ち  $\gamma_a \rightleftharpoons \gamma_t + \beta$  なる共析變態點の溫度が  $Si$  の添加によつて急に上昇する。2 元系の際は  $780^\circ C$  なるも  $Si$  1% 添加すれば約  $900^\circ C$  位となり 2% の時は液相線の近く迄上り決定困難となる。又第 21 表の TSA 312 及び TSA 313 試料の熱分析曲線を見ると  $980^\circ C$  附近に一定溫度の停止點らし

\* 金屬研究第 11 卷第 10 號 481 頁



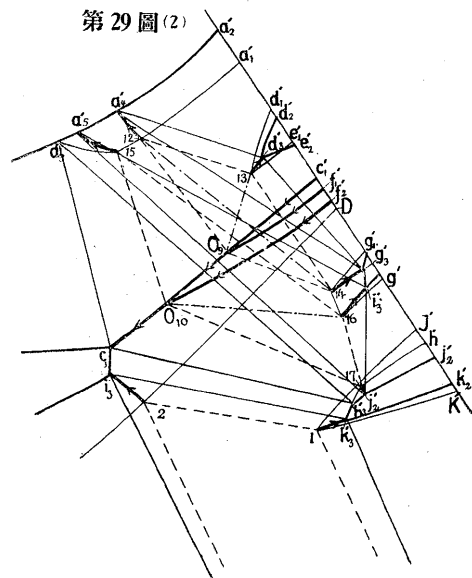
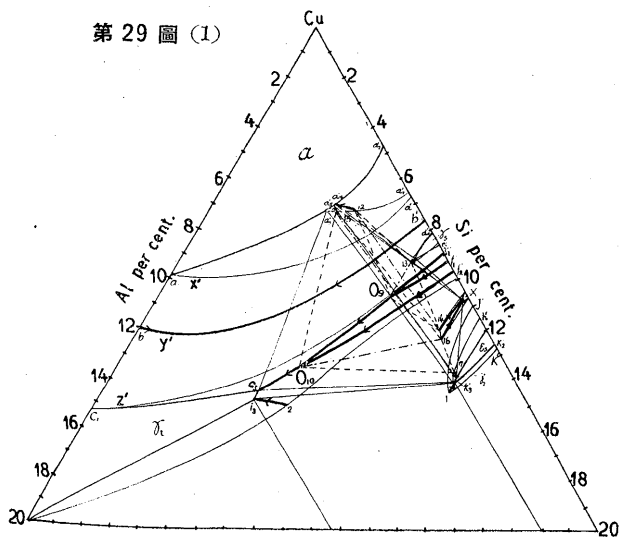
きものを認めるを以て筆者は此變化は3元包晶反應、熔態  $\gamma_a + \beta \rightleftharpoons \gamma_s$ 、であると認定した。此3元包晶反應は三角形  $3O_2A$  (第28圖) に示す範囲内に起り三角形  $354$  範圍の合金のものは反應後凝固するも三角形  $35O_2$  内の合金は  $O_2C'$  反應熔態  $\beta + \gamma_t \rightleftharpoons \gamma_s$ 、を行ひ又三角形  $45\theta_2$  内の合金は  $\theta_2O_3$  反應、熔態  $\gamma_a \rightleftharpoons \gamma_t$ 、を行ふ。

松山博士は  $Cu, Si$  側に  $800^\circ C$  に1つの包共晶反應の存在すると報告されて居るが筆者の断面状態第23~25圖より明かなる如く  $800^\circ C$  附近の熱効果は2次晶の晶出か或は固相に相當するものであつて不變系反應と解釋せずとも凝固現象の説明が充分つく許りでなく同博士は此不變系反應による相の説明として  $Cu, Si$  2元系状態圖の共析變態點  $\gamma_t \rightleftharpoons \gamma_a + X$  が  $Al$  の添加によつて上昇して居る様に

考へられて居られるが筆者の實驗の結果(第24表及び第22~26圖参照)によれば總て2元系の場合より低溫度に現はれ且つ  $Al$  の添加量増加するに従ひ次第に下降する事を知つた。

(2) 固態に於ける變化 測定は凝固現象の研究と同様の断面に就いて行つた。試料の充分なる焼鈍並びに熱分析方法は既述の研究(本誌第21年第9號727頁)と全く同一である。測定結果を總括して第24表に掲載して置いた。又此等の結果を第15~26圖に×なる記號を以て記入した

本3元系に於て固態に於ける變化の最も複雑な箇所は  $Cu, Si$  2元系に接近した部分及び  $Cu, Al$  合金の  $\beta, \gamma_a, \gamma_t, \epsilon_a, \epsilon_{2a}$  諸相間の平衡關係であつた。後者は第28圖に示すが如き關係を有して居るが前者は第29圖a及びb



第 24 表 固態に於る熱分析結果

番 號	停 止 溫 度 °C						番 號	停 止 溫 度 °C						番 號	停 止 溫 度 °C					
	加 熱			冷 却				加 熱			冷 却				加 熱			冷 却		
TSA 109	550	—	—	—	530	—	TSA409	620	—	—	—	600	—	TSA1105	682	750	—	—	—	—
" 111	555	—	—	—	550	516	" 410	605	—	—	—	598	—	" 111	683	740	—	—	—	—
" 113	561	—	—	—	520	514	" 411	600	—	—	—	—	—	" 111.5	735	—	—	—	—	—
" 114	555	—	—	—	518	—	" 413	773	—	—	—	—	—	" 1201	670	730	—	—	—	—
" 115	885	—	—	—	—	—	" 415	760	—	—	—	—	—	T 27	676	740	—	—	—	—
" 118	745	780	—	—	—	—	" 416	760	—	—	—	—	—	" 27.5	680	748	—	—	740	636
" 119	735	760	—	—	—	—	" 420	690	760	—	—	—	—	" 28.5	658	—	—	—	608	—
" 120	735	762	—	—	—	—	" 422	560	700	—	—	—	—	" 29	493	550	610	650	643	—
" 121	690	760	—	—	—	—	" 424	570	590	638	—	—	—	" 29.5	490	550	675	—	—	—
" 122	575	692	730	—	—	—	" 426	580	590	605	—	—	—	TSA1002	495	550	600	680	—	—
" 125	550	586	630	—	—	—	" 430	569	575	—	—	—	—	T 211	540	590	653	—	—	—
" 128	570	590	605	—	—	—	" 602	746	—	—	—	—	—	TSA1202	526	582	—	—	—	—
" 130	568	573	596	610	—	—	" 604	493	580	705	—	—	—	T 213	529	564	590	—	—	—
" 133	568	573	605	—	—	—	" 605	510	570	686	—	658	500	" 215	524	588	—	—	—	—
" 135	568	571	—	—	—	—	" 606	490	520	664	—	—	—	" 217	524	584	—	—	—	—
" 208	none	—	—	—	—	—	" 607	490	648	—	—	—	—	" 37	680	730	—	—	726	—
" 209*	553	—	—	—	520	—	" 608	440	460	—	—	—	—	" 38	500	595	724	—	718	—
" 210	560	—	—	—	528	—	" 615	770	—	—	—	—	—	" 39	491	550	606	670	—	—
" 211	562	—	—	—	526	—	" 620	689	760	—	—	—	—	" 310	552	606	656	—	—	—
" 212	562	—	—	—	515	—	" 625	560	580	—	—	—	—	" 311	532	562	590	—	—	—
" 216	770	—	—	—	—	—	" 1001	692	756	—	688	748	—	" 313	524	584	—	—	—	—
" 217	768	—	—	—	—	—	" 1002	495	550	600	680	—	—	" 47	493	600	672	—	638	—
" 220	730	750	—	—	—	—	" 1003	552	606	656	—	—	—	" 48	500	550	600	—	—	—
" 221	686	744	—	—	—	—	" 1004	531	580	—	—	—	—	" 49	500	548	610	650	—	—
" 222	622	730	758	—	—	—	" 1005	525	585	—	—	—	—	" 411	532	592	—	—	—	—
" 223	530	560	590	—	—	—	" 1006	527	581	—	—	—	—	" 414	526	580	—	—	—	—
" 225	570	589	610	646	—	—	" 1010	743	—	—	—	—	—	" 605	460	655	—	—	—	—
" 227	550	570	—	—	—	—	" 1015	761	—	—	—	—	—	" 607	489	662	—	—	—	—
" 229	570	574	—	—	—	—	" 1020	560	740	—	—	—	—	" 608	530	600	—	—	—	—
" 231	570	575	—	—	—	—	" 17	683	770	—	—	—	—	" 609	526	582	—	—	—	—
" 232	568	575	—	—	—	—	" 17.5	688	770	—	—	—	—	" 611	528	562	590	—	—	—
" 405	none	—	—	—	—	—	" 18.5	708	—	—	—	—	—	TSA1206	528	564	594	—	—	—
" 406	650	749	—	—	630	—	" 19	620	720	—	—	—	—	" 807	538	560	588	—	—	—
" 407	618	—	—	—	600	—	" 19.5	690	752	—	—	748	—	" 708	515	550	578	—	—	—
" 408	612	—	—	—	600	—	" 110	685	548	—	—	—	—	" 1010	520	560	—	—	—	—

\* 配合組成 (Cu 89%, Si 2%, Al 9%)

に示すが如き結果となつた。第 29 圖 a は Cu を主成分とした合金の固相間の平衡状態圖であり第 29 圖 b は特に Cu, Si 側に近き部分即ち α, γ<sub>s</sub>, γ<sub>t</sub>, X, ε<sub>s</sub> 諸相の平衡關係を定性的に擴大したものである。

第 28~29 圖に於ける 1 變系の平衡關係を示す反應線並に反應は第 25 表の如きものである。

既に凝固現象を示す第 27 圖に於て Cu, Al 合金の β 相は Cu, Si 合金の β 相と高溫度に於て全く合一し均一固溶體を作ることを知つたが尙溫度が下降しても同一固溶體をなし、しかも β の共析變態 β ⇌ α + γ<sub>t</sub> も連続して居る事を知つた第 29 圖 b'y'b は此の共析變態を示す曲線にして Cu, Si 2 元系の β 變態は Al の添加に従ひ次第に下降し最低點 y' を經て再び上昇し Cu, Al 2 元系の β 變態點 b に一致する。y' の溫度は加熱の場合は約 550° 冷却の場合は約 515° であり其組成は Si 1~2% の間に存在し Al 11% 残り Cu の合金である。x' 及び z' は y' に示す β 相と共軛の α 及び γ<sub>t</sub> 相である。

第 25 表

反 應 線	反 應
二元 包析線 f <sub>1</sub> 'O <sub>10</sub>	γ <sub>t</sub> (f <sub>2</sub> 'O <sub>10</sub> ) + ε <sub>s</sub> (h'17) ⇌ X(g'16)
" 共析線 f <sub>1</sub> 'O <sub>9</sub>	γ <sub>t</sub> (f <sub>1</sub> 'O <sub>9</sub> ) ⇌ γ <sub>s</sub> (e <sub>1</sub> '13) + X(g'14)
" " O <sub>9</sub> O <sub>10</sub>	γ <sub>t</sub> (O <sub>9</sub> O <sub>10</sub> ) ⇌ α(12·15) + X(14·16)
" 包析線 c <sub>1</sub> 'O <sub>9</sub>	γ <sub>t</sub> (c <sub>1</sub> 'O <sub>9</sub> ) + α(a <sub>1</sub> '12) ⇌ γ <sub>s</sub> (d <sub>1</sub> '13)
" 共析線 O <sub>10</sub> C <sub>3</sub>	γ <sub>t</sub> (O <sub>10</sub> 'c' <sub>3</sub> ) ⇌ α(15a <sub>3</sub> ') + ε <sub>s</sub> '(17h <sub>2</sub> ')
" " b'y'b	β(b'y'b) ⇌ α(a'x'a) + γ <sub>t</sub> (c'z'c <sub>1</sub> )
" " 1k <sub>3</sub> '	γ <sub>t</sub> (2i <sub>3</sub> ) ⇌ ε <sub>s</sub> (1k <sub>3</sub> )
" " 2i <sub>3</sub>	γ <sub>t</sub> (2i <sub>3</sub> ) ⇌ Si
" " 12a <sub>4</sub> '	α(12a <sub>4</sub> ') ⇌ γ <sub>s</sub> (13d <sub>3</sub> ')
" " 13d <sub>3</sub> '	α(12a <sub>4</sub> ') ⇌ X(14g <sub>3</sub> ')
" " 14g <sub>3</sub> '	α(12a <sub>4</sub> ') ⇌ X(16i <sub>3</sub> ')
" " 15a <sub>5</sub> '	α(15a <sub>5</sub> ') ⇌ ε <sub>s</sub> '(17j <sub>2</sub> ')
" " 16i <sub>3</sub> '	α(15a <sub>5</sub> ') ⇌ ε <sub>s</sub> '(17j <sub>2</sub> ')
" " 17j <sub>2</sub> '	α(15a <sub>5</sub> ') ⇌ ε <sub>s</sub> '(17j <sub>2</sub> ')
" " c <sub>4</sub>	γ <sub>a</sub> (e4) ⇌ γ <sub>t</sub> (e5) + β(d3)
" 包析線 fb	γ <sub>a</sub> (fb) + ε <sub>1a</sub> (h <sub>1</sub> 7) ⇌ γ <sub>t</sub> (g <sub>1</sub> 6)
" 共析線 10i	γ <sub>t</sub> (10i) ⇌ ε <sub>2a</sub> (11k)
" " 11k	γ <sub>t</sub> (10i) ⇌ Si

前述の如く Cu-Al 系の γ<sub>a</sub> ⇌ γ<sub>t</sub> + β なる反應を示す共析點 e は Si の添加と共に上昇し約 980°C に於ける 3 元包晶反應による 4 點に到る。同様に Cu-Al 系の 873°C

に於ける包析点 f にて示す  $\gamma_a + \epsilon_{1a} \rightleftharpoons \gamma_t$  なる包析反応も *Si* の添加に従ひ矢張上昇し 910°C に於て包共晶反応 熔態  $+ \gamma_a \rightleftharpoons \gamma_t + \epsilon_{1a}$  を行ふ 6 なる点に一致する。此反応に於て  $\gamma_a$  と  $\gamma_t$  とは極く接近して居るため第 28 圖に於ては便宜上 1 點にて示して置いた。

10, 11 *Si* なる範圍の合金は凝固直後に於ては各點にて示す  $\gamma_t$ ,  $\epsilon_{2a}$  及び *Si* の 3 相よりなるものであるが其等の  $\gamma_t$  及び  $\epsilon_{2a}$  相は 10i 及び 11k に沿ふて夫々共析反応  $\gamma_t \rightleftharpoons \epsilon_{2a} + Si$  及び  $\epsilon_{2a} \rightleftharpoons \gamma_t + Si$  をなしつつ下降し *Cu-Al* 2 元系の i 及び k 點に合致する。

顕微鏡試験によれば *Cu-Al* 2 元系の  $\delta$ ,  $\epsilon_{1a}$ ,  $\epsilon_{2a}$ ,  $\zeta_1$ ,  $\zeta_2$ ,  $\eta_1$  及び  $\eta_2$  相は殆んど *Si* を固溶しない。若し溶解度を有して居ても極微量である。此事は亦熱分析の結果を見ると *Cu-Al* 2 元系の此等の諸相を含む合金に *Si* を添加したものの變態温度は殆んど不變である所よりしても證明せられる。即ち *Cu-Al* 2 元系の不變系反応  $\gamma_t + \epsilon_{2a} \rightleftharpoons \delta$ ,  $\epsilon_{2a} \rightleftharpoons \delta + \zeta_1$ ,  $\zeta_1 \rightleftharpoons \delta + \zeta_2$ ,  $\epsilon_{2a} + \eta_1 \rightleftharpoons \zeta_1$ ,  $\zeta_1 + \eta_1 \rightleftharpoons \zeta_2$ , 及び  $\eta_1 \rightleftharpoons \eta_2$  なる同素變態による 2 つの反応  $\eta_1 + \zeta_2 \rightleftharpoons \eta_2$ ,  $\eta_1 + \theta \rightleftharpoons \eta_2$  は *Si* の存在のもとに於て同様の反応を行ふものである。是等を總括すれば次の如き不變系反應を得る。

反 應	温 度°C
3 元包共析反應 $\gamma_t + \epsilon_{2a} \rightleftharpoons \delta + Si$	686°
3 元共析反應 $\epsilon_{2a} \rightleftharpoons \delta + \zeta_1 + Si$	560°
3 元共析反應 $\zeta_1 \rightleftharpoons \delta + \zeta_2 + Si$	530°
3 元包共析反應 $\epsilon_{2a} + \eta_1 \rightleftharpoons \zeta_1 + Si$	590°
3 元包共析反應 $\zeta_1 + \eta_1 \rightleftharpoons \zeta_2 + Si$	570°
3 元同素變態 $\eta_1 + \zeta_2 \rightleftharpoons \eta_2 + Si$	560°
3 元同素變態 $\eta_1 + \theta \rightleftharpoons \eta_2 + Si$	563°

*Cu*, *Si* 側の固相間の變化に就いて述べると包析變態、 $\gamma_t + \alpha \rightleftharpoons \gamma_s$ , と共析變態  $\gamma_t \rightleftharpoons \gamma_s + X$ , との兩者とも *Al* の添加により變態温度下降し  $\theta_9$  點に於て不變系反應  $\gamma_t + \gamma_s \rightleftharpoons \alpha + X$  をなし  $\gamma_s$  を消失す。又  $\theta_9, \theta_{10}$  にて示す 1 變系反應  $\gamma_t \rightleftharpoons \alpha + X$ , は  $\theta_{10}$  に於て  $f'_2, \theta_{10}$  なる包析變態  $\gamma_t + \epsilon_s'' \rightleftharpoons X$  と共に 3 元包共析反應  $\gamma_t + X \rightleftharpoons \alpha + \epsilon_s''$  を行ひ  $X$  を消失す。此等不變系反應並に温度、組成を表記すれば第 26 表の如くなる。

第 26 表

點	温度	組 織%	反 應
$O_9$	675	$Al \rightleftharpoons 2.5, Si \rightleftharpoons 8.0$	包共析反應 $\gamma_t(O_9) + \gamma_s(13) \rightleftharpoons \alpha(12) + X(14)$
$O_{10}$	495	$Al \rightleftharpoons 7.5, Si \rightleftharpoons 6.3$	包共析反應 $\gamma_t(O_{10}) + X(16) \rightleftharpoons \alpha(15) + \epsilon_s''(17)$

尙 *Cu-Si* 側に於ては  $\epsilon_s$  相を含む合金は  $\epsilon_s$  の 2 つの

同素變態  $\epsilon_s \rightleftharpoons \epsilon_s'$ ,  $\epsilon_s' \rightleftharpoons \epsilon_s''$  に起因する不變系反應が生じるわけである、之は第 23~26 圖に於て明瞭なる如く次の様な不變系反應の存在する事を知つた。

反 應	温度°C
$\gamma_t + \epsilon_s \rightleftharpoons \epsilon_s' + X$	600
$\gamma_t + \epsilon_s' \rightleftharpoons \epsilon_s'' + X$	550
$\gamma_t + \epsilon_s \rightleftharpoons \epsilon_s' + Si$	585
$\gamma_t + \epsilon_s' \rightleftharpoons \epsilon_s'' + Si$	525

**B. 顕微鏡試験** 顕微鏡試験としては熱分析終了後の爐中冷却試料並に其等と同一組成を有する金型鑄造試料を各種の熱処理を施したものを用ひた。熱分析結果と檢鏡試験とより前記の断面状態圖を作製したのであつて腐蝕液としては鹽化第二銅溶液、沃度溶液、アルコール鹽化第二鐵溶液並に重クロム酸加里溶液 (飽和  $K_2Cr_2O_7$  溶液 + 10%  $H_2SO_4$  + 2%  $NaCl$ ) 等を各合金の組成に應じて使用した。即ち鹽化第二銅溶液及び沃度溶液は *Cu*, *Al* 2 元系の研究の項に述べた如く  $\gamma_t$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon_{2a}$ ,  $\zeta_1$ ,  $\eta_1$  及び  $\eta_2$  諸相の識別に用ひた。*Cu*, *Si* 側の合金に就いては概して鹽化第二鐵溶液が良結果を示したが  $\gamma_s$ ,  $\gamma_t$ ,  $X$ , 及び  $\epsilon_s$  諸相の判別には重クロム酸溶液が更に良い様である。 $X$  及び  $\epsilon_s$  相を含む合金の破断面並びに腐蝕面は時間の経過とともに次第に濃紅色に汚染されて来るから此の 2 相を含有するや否やは試料の外観上より容易に識別がつく。

1) *Si* 1%, 2%, 4% 含有する断面の檢鏡結果。

*Si* 1% 2%, 4% を含む合金は第 9~11 表に記載してある TSA1, TSA 2, TSA4 級の合金で此等を所要の温度より水焼入した時の諸相は第 27 表に示した。同表中の試料番號は總て第 9~11 表の番號と同一であることを示す、従つて其等の組成も第 9~11 表を参照せられたい。

是等 3 つの TSA1, TSA2, TSA4 Series の合金は凝固後の組織が殆んど同じ様であるからして主として TSA1 Series 即ち *Si* 1% を含む合金に就いて二三寫眞の説明をすれば充分に *Cu*, *Al* 2 元系に接近した部分の組織が明かに了解される。

*Cu-Al* 系の  $\beta$  及び  $\gamma_t$  相に *Si* を添加すれば次第に存在領域が狭くなる。例へば  $\gamma_t$  相の存在領域は 500°C に於て 1% *Si* の場合は 84.7~82.2% *Cu* の範圍にあるものが 4% *Si* の時は 84.8~83.8% *Cu* の範圍迄狭くなる。此事柄は第 30~33 圖に於ても明かに認められる。寫眞 1 は TSA 412 合金 (約 4% *Si*, 12% *Al*, 残り *Cu*) を 800°C に 1 時間加熱し次いで 500°C 迄爐中冷却し同温度に 70 時間焼鈍し水焼入した組織である。寫眞にて明かなる如く單一固溶體  $\gamma_t$  のみである。寫眞 2 は  $\gamma_a$  相の大きい

第 27 表

番 號	焼入 温度	加熱 時間	存在する相	番 號	焼入 温度	加熱 時間	存在する相	番 號	焼入 温度	加熱 時間	存在する相	番 號	焼入 温度	加熱 時間	存在する相
<b>TSA 1 Series</b>															
TSA 107	510	16	$\alpha$	TSA 114	860	2	$\gamma_t + \beta$	TSA 117	870	1	$\gamma_t + \text{熔態}$	TSA 123	500	20	$\delta + \zeta_2 + Si$
"	800	2	$\alpha$	"	900	2	$\gamma_t + \beta$	" 118	510	16	$\gamma_t + Si$	"	550	18	$\delta + \zeta_1 + Si$
" 109	510	16	$\alpha + \gamma_t$	"	940	2	$\gamma_a + \beta$	"	650	6	$\gamma_t + Si$	"	600	20	$\epsilon_{2a} + Si$
"	650	6	$\alpha + \beta$	" 115	510	16	$\gamma_t$	"	120	20	$\gamma_t + Si$	" 124	550	18	$\zeta_1 + \delta + Si$
"	800	2	$\beta$	"	650	6	$\gamma_t$	" 119	510	6	$\gamma_t + Si$	"	600	20	$\epsilon_{2a} + Si$
" 110	510	16	$\alpha + \gamma_t$	"	800	2	$\gamma_t$	"	650	6	$\gamma_t + Si$	"	680	2	$\epsilon_{2b} + Si + \text{熔態}$
"	650	6	$\beta + \alpha$	"	850	8	$\gamma_t$	"	750	2	$\gamma_t + \epsilon_a + Si$	" 125	550	18	$\zeta_1 + Si$
"	800	2	$\beta$	"	900	2	$\gamma_a$	" 120	510	6	$\lambda_t + \delta + Si$	"	600	20	$\epsilon_{2a} + Si$
" 111	510	16	$\alpha + \gamma_t$	"	920	2	$\gamma_a$	"	650	6	$\gamma_t + Si$	" 126	550	18	$\zeta_1 + Si$
"	650	6	$\beta$	"	960	4	$\gamma_a$	"	750	2	$\gamma_t + \epsilon_{2a} + Si$	"	600	20	$\epsilon_{2a} + Si$
"	800	2	$\beta$	" 116	510	16	$\gamma_t$	" 121	510	6	$\delta + Si$	" 127	550	18	$\zeta_2 + \eta_2 + Si$
" 112	510	16	$\alpha + \gamma_t$	"	650	6	$\gamma_t$	"	650	6	$\delta + Si$	"	600	20	$\epsilon_{2a} + \eta_1 + Si$
"	650	6	$\beta + \gamma_t$	"	800	2	$\gamma_t$	"	670	6	$\delta + Si$	" 128	550	18	$\eta_2 + Si$
"	800	2	$\beta$	"	850	8	$\gamma_t$	"	695	2	$\gamma_t + \epsilon_a + Si$	"	570	2	$\eta_1 + Si$
" 113	510	16	$\gamma_t + \alpha$	"	900	2	$\gamma_t$	"	730	2	$\gamma_t + \epsilon_{2a} + Si$	"	590	2	$\eta_1 + Si$
"	650	6	$\gamma_t + \beta$	"	920	2	$\gamma_a$	" 122	500	20	$\delta + \zeta_2 + Si$	" 130	550	18	$\eta_2 + \theta + Si$
"	800	2	$\gamma_t + \beta$	" 117	510	16	$\gamma_t + Si$	"	570	20	$\delta + \delta_{2a} + Si$	"	580	2	$\eta_1 + Si + \text{熔態}$
"	900	2	$\beta$	"	650	6	$\gamma_t + Si$	"	600	20	$\delta + \epsilon_{2a} + Si$	" 132	550	18	$\eta_2 + \theta + Si$
" 114	510	16	$\gamma_t + \alpha$	"	800	2	$\gamma_t$	"	650	6	$\delta + \epsilon_{2a} + Si$	" 135	550	18	$\eta_2 + \theta + Si$
"	800	2	$\gamma_t + \beta$	"	860	4	$\gamma_t$	"	720	8	$\epsilon_{2a} + Si$				
<b>TSA 2 Series</b>															
TSA 206	500	20	$\alpha$	TSA 213	800	4	$\gamma_t$	TSA 218	750	4	$\gamma_t + Si$	TSA 223	500	20	$\delta + \zeta_2 + Si$
"	800	4	$\alpha$	" 214	500	20	$\gamma_t$	" 219	500	20	$\gamma_t + Si$	"	600	40	$\epsilon_{2a} + Si$
" 208	500	20	$\alpha + \gamma_t$	"	700	2	$\gamma_t$	"	700	2	$\gamma_t + Si$	"	730	6	$\epsilon_{2a} + Si + \text{熔態}$
"	800	4	$\alpha + \beta$	"	800	4	$\gamma_t$	"	750	4	$\gamma_t + \epsilon_{2a} + Si$	" 224	500	20	$\zeta_2 + \delta + Si$
" 210	500	20	$\alpha + \gamma_t$	" 215	500	20	殆んど均一 $\gamma_t$	" 220	500	20	$\gamma_t + Si$	"	600	40	$\epsilon_{2a} + Si$
"	700	2	$\beta$	"	700	2	"	"	700	2	$\gamma_t + Si$	"	660	2	$\epsilon_{2a} + Si$
"	800	4	$\beta$	"	800	4	$\gamma_t + \text{熔態}$	"	730	6	$\gamma_t + \epsilon_a + Si$	" 225	500	20	$\zeta_2 + Si$
" 211	500	20	$\alpha + \gamma_t$	" 216	500	20	$\gamma_t + Si$	" 221	500	20	$\delta + Si$	"	600	40	$\epsilon_{2a} + Si$
"	700	2	$\beta + \gamma_t$	"	700	2	$\gamma_t + Si$	"	600	40	$\delta + Si$	"	660	2	$\epsilon_{2a} + Si + \text{熔態}$
"	800	4	$\beta$	"	806	4	$\gamma_t + Si + \text{熔態}$	"	670	6	$\delta + Si$	" 227	500	20	$\eta_2 + \zeta_2 + Si$
" 212	500	20	$\gamma_t + \alpha$	" 217	500	20	$\gamma_t + Si$	"	700	2	$\gamma_t + \epsilon_{2a} + Si$	"	600	40	$\epsilon_a + \eta_1 + Si$
"	700	2	$\gamma_t + \beta$	"	700	2	$\gamma_t + Si$	"	730	6	$\gamma_t + \epsilon_a + Si$	" 229	500	20	$\eta_2 + Si$
"	800	4	$\gamma_t + \beta$	"	750	4	$\gamma_t + Si$	" 222	500	20	$\delta + \zeta_2 + Si$	"	570	2	$\eta_1 + Si$
"	900	2	$\gamma_t + \beta$	" 218	500	20	$\gamma_t + Si$	"	600	40	$\delta + \epsilon_{2a} + Si$	"	580	1	$\eta_1 + Si + \text{熔態}$
" 213	500	20	$\gamma_t$	"	700	2	$\gamma_t + Si$	"	730	6	$\epsilon_{2a} + Si$	" 231	500	20	$\eta_2 + \theta + Si$
"	700	2	$\gamma_t$												
<b>TSA 4 Series</b>															
TSA 405	550	70	殆んど均一 $\alpha$	TSA 409	500	70	$\gamma_t + \alpha$	TSA 412	800	4	$\gamma_t$	TSA 421	730	8	$\delta + \epsilon_{2a} + Si$
"	700	2	$\alpha + \beta$	"	700	2	$\beta + \gamma_t$	"	860	0.5	$\gamma_t \text{熔態}$	" 422	600	120	$\delta + \epsilon_{2a} + Si$
"	800	4	$\alpha + \beta$	"	800	4	殆んど $\beta$	" 413	500	70	$\gamma_t + Si$	"	650	6	$\delta + \epsilon_{2a} + Si$
" 406	550	70	$\alpha + \gamma_t$	" 410	500	70	$\gamma_t + \alpha$	"	800	4	$\gamma_t + \text{熔態}$	" 423	500	120	$\delta + \zeta_2 + Si$
"	700	2	$\alpha + \beta$	"	700	2	$\gamma_t + \beta$	" 414	600	120	$\gamma_t + Si$	"	600	120	$\epsilon_{2a} + Si$
"	800	4	殆んど $\beta$	"	800	4	$\beta + \gamma_t$	" 415	600	120	$\gamma_t + Si$	" 424	500	120	$\zeta_2 + Si$
"	930	0.5	$\beta + \text{熔態}$	"	860	1	$\beta$	" 418	600	120	$\gamma_t + Si$	"	600	120	$\epsilon_{2a} + Si$
" 407	550	70	$\alpha + \gamma_t$	"	920	1	$\beta + \text{熔態}$	"	730	8	$\gamma_t + Si$	" 425	500	120	$\zeta_2 + Si$
"	700	2	殆んど $\beta$	" 411	500	70	$\gamma_t + \text{少量 } \alpha$	" 419	600	120	$\gamma_t + Si$	" 426	500	120	$\zeta_2 + \eta_2 + Si$
"	800	4	$\beta$	"	700	2	$\gamma_t + \beta$	" 420	600	120	$\delta + Si$	"	600	120	$\epsilon_{2a} + \eta_1 + Si$
" 408	550	70	$\alpha + \gamma_t$	"	800	4	$\gamma_t + \beta$	"	730	8	$\gamma_t + \epsilon_{2a} + Si$	" 428	500	120	$\eta_2 + Si$
"	700	2	$\beta$	" 412	500	70	$\gamma_t$	" 421	600	120	$\delta + Si$	"	600	120	$\eta_2 + Si + \text{熔態}$
"	800	4	$\beta$	"	700	2	$\gamma_t$	"	650	6	$\delta + \epsilon_{2a} + Si$	" 430	500	120	$\eta_2 + \theta + Si$

結晶を示したもので試料は 82.43% Cu, 1.01% Si を含み焼入温度は 920°C である。同一試料を 850°C で焼入したものは写真 3 の如く写真 2 と殆んど組織的には變りないが之は  $\gamma_t$  相である。 $\gamma_t$  相と  $\gamma_a$  相との區別は 2 元系の場合と同様判定し難い。Cu-Al 2 元系の  $\gamma_a + \epsilon_{1a}$  の 2 相共存領域は 3 元系になると領域が甚だしく縮少するため検鏡試験による決定困難にして Si を 1% 含有する TSA1

Series の合金に於て各種温度より焼入せしも此 2 相共存領域を發見し得なかつた。

$\gamma_t$  と Si の共存組織は写真 4 に示すが如く明らかに認められる。此合金は Cu を 80.38% 含有し Si を 1.02% 含んだもので熱処理は 510°C に 16 時間加熱し焼入した。Si は  $\gamma$  結晶の粒界並に粒内に灰白色に點在して居る。写真 5 は  $\gamma_t$  と  $\delta$  と Si の 3 相存在を示したもので組成は Cu

79.59%, Si 1.26%, Al 残分を有し 510° に長時間加熱したものである。 $\gamma_t$  と  $\delta$  相は濃淡よく識別出来るが Si は此等結晶粒界に灰白色に點在して居る。此の 3 相共存組織より既述\* 筆者の Cu-Al 2 元系状態圖の正しき證明となる。又  $\delta$  相の存在に就いても矢張り正しき事を認められる即ち 78.1% Cu, 1.02% Si を含む合金を 670°C で焼鈍せし合金の組織は寫眞 6 に示すが如く條痕の多い  $\delta$  晶中に澤山の小さい Si が存在して居る。同じ合金を不変系反應  $\delta + Si \rightleftharpoons \delta_t + \epsilon_{2a}$  (686°C) を行ふ温度以上に加熱すると  $\delta$  晶が消失し  $\gamma_t + \epsilon_{2a} + Si$  の 3 相共存組織を呈す。寫眞 7 は斯如き組織にして白色の  $\gamma_t$  晶基地中に分解した  $\epsilon_{2a}$  晶と極微細な Si の灰白結晶とよりなつて居る。寫眞 8 (Cu 76.78%, Si 1.14%, 600°C より水中焼入せしもの) は寫眞 7 の合金より更に Cu が少なくなつて  $\epsilon_{2a}$  晶が多くなる場合で灰褐色の  $\epsilon_{2a}$  晶の基地中に白色  $\delta$  晶と微細な Si が存在して居る。Si は寫眞 7 にては認め難きも寫眞 9 の如く Si 含有量約 4% となると寫眞左側の角張つた灰白色の大きい結晶となつて明らかに認められる。灰褐色のものは  $\delta_{2a}$  晶にして基地は  $\delta$  晶である。

寫眞 10 は  $\epsilon_{2a}$  晶の共析變態による  $\delta + \zeta_1$  晶と Si の 3 相共存組織を示したもので 75.86% Cu, 1.27% Si 合金を 550°C より焼入したものである。寫眞 11 及び 12 は夫々 73.11% Cu, 1.04% Si 及び 75.12% Cu, 1.30% Si 合金を 600°C より焼入した組織で兩者とも  $\epsilon_{2a}$  と Si の 2 相共存を示す。但し前者の  $\epsilon_{2a}$  晶は條痕の多い分解した組織を呈するが後者は分解の度が少ない。此現象も Cu-Al 2 元系の場合と同様であつて Cu 側に寄つた  $\epsilon_{2a}$  は分解

し易い性質を有して居る。

$\zeta_1$  と Si の 2 相共存組織は寫眞 13 に見る如く條痕の多い  $\epsilon_1$  晶の粒界並に粒内に矢張り Si の點晶を發見し得るこの組織より  $\zeta_1$  晶も Si を殆んど固溶し得ない事を知る寫眞 14 は Cu 71.0%, Si 2.0% を含む合金を 550°C より焼入した組織にして  $\zeta_2, \eta_2, Si$  の 3 相共存を示す。 $\eta$  相も矢張り殆んど Si を固溶する能力なく寫眞 15 に示すが如く 1.26% Si を含むものでも明瞭に四角な灰白色の Si を粒界に析出して居る。寫眞 16 は TSA 420 合金 (75.73% Cu, 4.28% Si) を 600°C 120 時間加熱後水中焼入した組織にして大きい條痕のある結晶は  $\delta$  相にして結晶粒界に Si がある。以上は金型鑄造試料を長時間所要温度に加熱後焼入したものであるが爐中冷却した組織の二三を示せば次の如し。

TSA 423 (72.91% Cu, 4.0% Si) 合金の熱分析終了後の組織は寫眞 17 に示すが如く  $\delta, \zeta_2, Si$  の 3 相よりなつて居る。是れよりも更に Cu が少なくなると寫眞 18 の如く  $\eta_2, \zeta_2, Si$  の 3 相からなつて居る。此合金 (70% Cu, 30% Si) は初晶として  $\epsilon_{2a}$  を晶出し次いで  $\epsilon_{2a}$  と Si とを晶出し最後に 608°C に於て 熔態  $+ \epsilon_{2a} \rightleftharpoons \eta_1 + Si$  なる不変系反應を行つて凝固する、凝固後  $\epsilon_{2a}$  は 590°C に於て  $\epsilon_{2a} + \eta_1 \rightleftharpoons \zeta_1 + Si$  なる包析反應をなし、 $\zeta_1$  相は更に 570°C にて  $\zeta_1 + \eta_1 \rightleftharpoons \zeta_2 + Si$  なる反應にて  $\zeta_2$  となる。 $\eta_1$  相は 560° にて  $\eta_2$  相に變化する。されば此組織を見るに樹枝状の初晶は上記の反應によりて著しく分解して  $\eta_2$  と  $\zeta_2$  になつて居る。2 次晶中の細長きは Si である。寫眞 19 は更に Cu の少ない TSA 430 合金 (66.09% Cu, 4.21% Si) の爐中冷却組織にして初晶  $\epsilon_{2a}$  が著しく分解して  $\eta_2$

第 2 8 表

番 號	焼入温度 (°C)	加熱時間 (h)	存在する相	番 號	焼入温度 (°C)	加熱時間 (h)	存在する相	番 號	焼入温度 (°C)	加熱時間 (h)	存在する相	番 號	焼入温度 (°C)	加熱時間 (h)	存在する相		
T 14	850	6	$\alpha$	T 18	800	6	$\beta$ 分解した組織	T 195	450	1ヶ月	$X + \alpha$	T 111.5	600	120	$\epsilon_s + X$		
"	600	120	$\alpha$	"	770	4	$\beta + \gamma_t$	"	110	760	8	$\gamma_t + \epsilon_s$	TSA 120.I	760	8	$\epsilon_s$	
"	830	4	$\alpha$	"	750	12	$\alpha + \gamma_t$	"	"	740	18	$\gamma_t + X$	"	700	14	$\epsilon_s$	
"	600	120	$\alpha$	"	600	120	殆んど $\gamma_s$	"	"	700	14	$\gamma_t + X$	"	600	120	$\epsilon_s' + \text{極微量の } X$	
TSA 601	830	4	$\alpha + \beta$	"	450	1ヶ月	$\gamma_s$	"	"	600	120	$X + \alpha$	"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + X$	
"	600	120	$\alpha + \gamma_s$	"	185	800	$\beta + \gamma_t$	"	"	450	1ヶ月	$X + \alpha + \epsilon_s''$	"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + X$	
T 17	800	6	$\beta + \alpha$	"	750	12	$\gamma_t + \alpha$	"	1105	760	8	$\gamma_t + \epsilon_s$	T 112.5	760	8	$\epsilon_s$	
"	770	4	$\alpha + \beta$	"	600	120	$\gamma_s + X$	"	"	700	14	$X + \gamma_t$	"	600	120	$\epsilon_s$	
"	765	0.5	$\alpha + \beta + \gamma_t$	"	19	800	6 $\gamma_t$	"	"	600	120	$X + \alpha$	"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + Si$	
"	760	1	$\alpha + \gamma_t$	"	"	760	8 $\gamma_t$	"	"	111	760	8	$\gamma_t + \epsilon_s$	"	700	14	$\epsilon_s + Si$
"	690	18	$\alpha + \gamma_t$	"	600	120	$\gamma_s + X + \alpha$	"	"	700	14	$X + \epsilon_s$	"	600	120	$\epsilon_s + Si$	
"	600	120	$\alpha + \gamma_s$	"	450	1ヶ月	$\gamma_s + X + \alpha$	"	"	600	120	$X + \epsilon_s'$	"	550	28	$\epsilon_s' + Si$	
"	800	6	$\beta$ 分解して共析組織を呈す	"	19.5	760	8 $\gamma_t$ + 少量の $\epsilon_s$	"	"	450	1ヶ月	$X + \epsilon_s'' + \alpha$	"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + Si$	
"	700	4	"	"	740	18	$\gamma_t + X$	"	111.5	760	8	$\gamma_t + \epsilon_s$	"	600	120	$\epsilon_s' + Si$	
"	600	120	$\alpha + \gamma_s$	"	600	120	$\gamma_t + X + \alpha$	"	"	700	14	$\epsilon_s + X$	"	550	28	$\epsilon_s' + Si$	
												"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + Si$		

\* 本誌二十一年第九號 726 頁

晶となつて居る。白色は  $\theta$  相にして灰青色の角のある小結晶は  $Si$  である。

2)  $Al$  を 1% 含み  $Cu, Si$  2 元系に平行なる断面の検鏡結果

$Cu, Si$  2 元系合金 (4~17%  $Si$  含有) に 1%  $Al$  を添加せし場合の各温度に於ける組織の變化は第 28 表の如きものである。

2 元系の組織と大差なけれども  $\alpha + \beta + \gamma_t, \gamma_s + X + \alpha, X + \epsilon_s'' + \alpha$  等の 3 相共存範囲の存在する點を異にして居る。寫眞 20 は  $Cu$  92.37%,  $Si$  6.63% を含む合金を 800°C に加熱し爐中冷却を行ひ 760°C となし其温度に 30 分保持せし後水中焼入をなせるものにして  $\alpha + \beta + \gamma_t$  の 3 相を示す。黒色部は  $\beta$  にして其周邊及び  $\alpha$  晶の粒界に灰青色の  $\gamma_t$  晶が存在する。 $\alpha$  晶は淡黄色に見える。 $\alpha + \gamma_s$  2 相共存組織は 2 元系の場合と全く同じである。寫眞 21 は其一例にして 91.55%  $Cu, 7.21\%$   $Si$  合金を 600°C に長時間焼鈍せしものにして灰色の  $\gamma_s$  晶が  $\alpha$  基地晶と共存して居る。寫眞 22 は T 18 合金 (90.77%  $Cu, 7.98$

%  $Si$ ) を 450°C に 1 ヶ月間焼鈍した組織で均一单相  $\gamma_s$  を示す。 $\gamma_s$  相の  $Al$  を固溶する限界は約 1.5% 前後であらうと推定される。T 19 合金 (90.11%  $Cu, 8.78\%$   $Si$ ) は凝固直後に於て  $\gamma_t$  相であるが冷却に従ひ  $\gamma_t + \gamma_s, \gamma_t + \gamma_s + X, \gamma_s + X$  となり遂に  $\gamma_s + X + \alpha$  となる。寫眞 23 は此の  $\gamma_s + X + \alpha$  3 相を示したもので黒色部は  $\alpha$  晶、灰色は  $X$  晶、基地は  $\gamma_t$  晶である。 $\alpha$  晶は鹽化第二鐵水溶液にて軽く腐蝕する時は淡黄色を呈するが強く腐蝕すれば寫眞の如く黒色となる。

T 110 合金は 89.26%  $Cu, 9.72\%$   $Si$  を含む合金にして熔態より先づ  $\gamma_t$  晶を晶出し次いで熔態  $\rightarrow \gamma_t + \epsilon_s$  反應にて凝固する。寫眞 26 は  $\gamma_t + \epsilon_s$  2 相共存を示す、即ち分解した  $\gamma_t$  晶が淡紅色の  $\epsilon_s$  晶によりて包まれて居る。尙此寫眞より次のことを知り得る、既に熱分析研究結果の項に於て記述したるが如く  $Cu, Si$  2 元系合金の  $\gamma_t + \epsilon_s \rightleftharpoons X$  (800°C) なる包析反應は  $Al$  の添加によつて著しく降下することである。即ち  $Al$  を 1% 添加すると 750°C 以下に降下し T 110 合金を 760°C より加熱したものは  $\gamma_t + \epsilon_s$

第 29 表 T 2 Series

番 號	焼入温度 (°C)	加熱時間 (h)	存在する相	番 號	焼入温度 (°C)	加熱時間 (h)	存在する相	番 號	焼入温度 (°C)	加熱時間 (h)	存在する相	番 號	焼入温度 (°C)	加熱時間 (h)	存在する相		
TSA 602	800	4	$\alpha + \beta$	T 28	770	6	$\gamma_t + \beta$	T 29	450	1ヶ月	$X + \epsilon_s'' + \alpha$	T 211	600	120	$X + \epsilon_s + \gamma_t$		
"	740	18	$\alpha + \gamma_t$	"	600	120	$\gamma_t + X + \alpha$	"	29.5	770	6	$\gamma_t + \epsilon_s$	"	450	1ヶ月	$X + \epsilon_s'' + \alpha$	
T 27	770	6	$\beta$	"	28.5	800	4	$\gamma_t$	"	700	2	$\gamma_t + X$	TSA 1202	740	18	$\epsilon_s$	
"	700	14	$\alpha + \gamma_t$	"	770	6	$\gamma_t$	"	600	120	$\gamma_t + X + \alpha$	"	600	120	$\epsilon_s + \text{極少量 } X$		
"	600	120	$\alpha + X$	"	600	120	$\gamma_t + X + \alpha$	"	450	1ヶ月	$X + \epsilon_s'' + \alpha$	T 213	740	18	$\epsilon_s + Si$		
" 27.5	770	6	$\beta$	"	29	800	4	$\gamma_t$	TSA 1002	740	18	$\gamma_t + \epsilon_s$	"	600	120	$\epsilon_s + Si$	
"	700	14	$\alpha + \gamma_t$	"	770	6	$\gamma_t$	"	600	120	$X + \gamma_t + \epsilon_s$	"	215	600	120	$\epsilon_s + \gamma_t + Si$	
"	450	1ヶ月	$\alpha + X$	"	700	2	$\gamma_t + X$	"	450	1ヶ月	$X + \epsilon_s'' + \alpha$	"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + \gamma_t + Si$		
" 28	800	4	$\gamma_t + \text{少量 } \beta$	"	600	120	$\gamma_t + X + \alpha$	T 211	740	18	$\epsilon_s + X$						
T 3 Series																	
TSA 603	800	12	$\alpha + \text{極少量 } \beta$	T 38	800	12	$\beta + \gamma_t$	T 29	600	120	$\gamma_t + X$	T 311	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + \gamma_t + \alpha$		
"	600	120	$\alpha + \gamma_t$	"	760	4	$\beta + \gamma_t$	"	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$	"	312	700	2	$\epsilon_s + \gamma_t$	
T 37	800	12	$\beta$	"	700	2	$\gamma_t + \alpha$	"	310	760	4	$X + \gamma_t$	"	600	120	$\epsilon_s + \gamma_t + Si$	
"	780	4	$\beta$	"	600	120	$\gamma_t + \alpha + X$	"	600	120	$X + \gamma_t + \epsilon_s$	"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + \gamma_t + Si$		
"	770	2	$\beta + \text{少量 } \gamma_t$	"	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$	"	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$	"	314	700	2	$\epsilon_s + \gamma_t + Si$	
"	600	120	$\alpha + \gamma_t$	"	800	12	$\gamma_t$	"	311	740	2	$\epsilon_s + \gamma_t$	"	600	120	$\epsilon_s + \gamma_t + Si$	
"	450	1ヶ月	$\alpha + \gamma_t + \epsilon_s''$	"	760	4	$\gamma_t$	"	600	120	$\epsilon_s + X$	"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + \gamma_t + Si$		
T 4 Series																	
TSA 604	800	12	$\beta + \text{少量 } \alpha$	T 47	550	8	$\alpha + \gamma_t + X$	T 48	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$	T 410	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + \gamma_t + \alpha$		
"	700	2	$\beta + \alpha$	"	450	1ヶ月	$\alpha + \gamma_t + \epsilon_s''$	"	49	700	2	$\gamma_t + \epsilon_s$	"	411	600	120	$\epsilon_s + \gamma_t + Si$
"	600	120	$\alpha + \gamma_t$	"	48	760	4	$\gamma_t$	"	650	18	$\gamma_t + X + \epsilon_s$	"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + \gamma_t + Si$	
"	450	1ヶ月	$\alpha + \gamma_t + \epsilon_s''$	"	650	18	$\gamma_t$	"	550	8	$\gamma_t + X$	AST 1204	600	120	$\epsilon_s + \gamma_t + Si$		
T 47	800	12	$\beta$	"	600	120	$\gamma_t + X$	"	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$	"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + \gamma_t + Si$		
"	760	4	$\beta + \gamma_t$	"	570	4	$\gamma_t + X$	"	410	650	18	$\epsilon_s + \gamma_t$	T 414	600	120	$\epsilon_s + \gamma_t + Si$	
"	600	120	$\gamma_t + \alpha$	"	550	8	$\gamma_t + X + \alpha$	"	600	120	$\epsilon_s + \gamma_t$	"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + \gamma_t + Si$		
T 6 Series																	
T 605	700	2	$\beta$	T 38	760	4	$\beta + \gamma_t$	T 39	600	120	$\gamma_t + X$	T 311	600	120	$\epsilon_s + X$		
"	780	4	$\beta$	"	700	2	$\gamma_t + \alpha$	"	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$	"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + \gamma_t + \alpha$		
"	770	2	$\beta + \text{少量 } \gamma_t$	"	600	120	$\gamma_t + \alpha + X$	"	310	760	4	$X + \gamma_t$	"	312	700	2	$\epsilon_s + \gamma_t$
"	600	120	$\alpha + \gamma_t$	"	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$	"	600	120	$X + \gamma_t + \epsilon_s$	"	600	120	$\epsilon_s + \gamma_t + Si$		
"	450	1ヶ月	$\alpha + \gamma_t + \epsilon_s''$	"	39	800	12	$\gamma_t$	"	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$	"	450	1ヶ月	$\epsilon_s'' + \gamma_t + Si$	
" 38	800	12	$\beta + \gamma_t$	"	760	4	$\gamma_t$	"	311	740	2	$\epsilon_s + \gamma_t$	"	314	700	2	$\epsilon_s + \gamma_t + Si$



2相の共存組織である。同じ合金を740°Cより焼入したものは写真25にして写真24の $\gamma_t + \epsilon_s$ 相とは全く異つた $\gamma_t + X$  2相の組織を示して居る。此組織はCu, Si 2元系合金の $\gamma + X$  2相共存(第13圖)組織と全くよく似て居る。松山博士の状態図によると写真24は25と同じ組織でなければならぬ筈であるが事實は兩写真の如く明かに異つて居る。

$\epsilon_s$ 相は700°Cに於て11.7~12.8% Siの範囲迄存在し450°Cに於ては12~12.6% Siの固溶態範囲を有して居る。

3) Alを2, 3, 4, 6% 含みSiを6~15% 含む合金の検鏡結果 此範囲の合金はCu, Si 2元系合金とは甚しく相違した組織となる。均一相としては $\alpha, \beta, \gamma_t$ が存在する。 $\gamma_s$ 相はAl 2%の添加によつて完全に姿を消し $\epsilon_s$ 相は2%の断面に現はれるが3%となると存在しなくなる。3相共存組織としては $\gamma_t + X + \alpha$ 及び $\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$ の2つが新しく現れて来る。此等の諸相は夫々 $\gamma_t + \gamma_s \rightleftharpoons X + \alpha$ 及び $\gamma_t + X \rightleftharpoons \epsilon_s'' + \alpha$ なる固態に於ける不変形反應によつて生じたものである。検鏡結果の總括は第29表の通り。T 28.5合金(89.39% Cu, 8.42% Si)は凝固直後に於ては $\gamma_t$ 晶であるが固相間に於て分解して $\gamma_t + X + \alpha$ となる可き筈であるが爐中冷却した試料は写真27に示すが

如く $\gamma_t$ 晶と分解した基地よりなり3相を認め難きも金型鑄造試料を600°Cに120時間焼鈍して焼入せしものは写真28の如く3相が明かに認められる。写真は300倍に擴大したもので淡白色のX相が $\gamma_t$ 相と接して存在し此等を包んで居る褐色部は $\alpha$ 晶である。同様な $\gamma, X, \alpha$ よりなる3組織は写真29に示すが如く3相存在を更に明瞭に知ることが出来る。写真29のT 38合金は89.62% Cu, 7.47% Siを含み其を600°Cより水中焼入した組織を100倍にして見たものである。

次に写真28及び29に示すが如きものを450°Cに1ヶ月間焼鈍すると495°Cに於ける不変系反應即ち $\gamma_t + X \rightleftharpoons \epsilon_s'' + \alpha$ なる變化を完了し $\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$ なる組織となる。斯如き組織は写真30である。之はT 38合金の組織を100倍に擴大したもので $\gamma_t$ と $\epsilon_s''$ とは入れ混つた甚しく分解した組織を示し其等の周囲を $\alpha$ 晶が包んで居る。此場合鹽化第二鹽溶液で強く腐蝕したため $\alpha$ 晶は黒色であるが普通腐蝕しない時及び腐蝕の程度弱き時は淡黄乃至褐黄色を呈する。尙此 $\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$  3相共存組織の他の例として写真31に示して置いた。之はT 47合金(89.35% Cu, 6.54% Si)を矢張450°Cに1ヶ月焼鈍したものである。

T 48合金(88.3% Cu, 7.63% Si)は凝固直後は $\gamma_t$ 晶のみであるが冷却に従ひ約630°C附近よりX相を析出

第30表 TSA 6 Series.

番 號	焼入温度(°C)	加熱時間(h)	存在する相	番 號	焼入温度(°C)	加熱時間(h)	存在する相	番 號	焼入温度(°C)	加熱時間(h)	存在する相	番 號	焼入温度(°C)	加熱時間(h)	存在する相
TSA 605	800	12	$\beta$	TSA 607	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$	TSA 610	700	2	$\gamma_t + Si$	TSA 620	600	120	$\gamma_t + \delta + Si$
"	700	2	$\beta + \gamma_t$	" 608	700	2	$\gamma_t$	"	600	120	$\gamma_t + Si$	"	450	1ヶ月	$\gamma_t + \delta + Si$
"	600	120	$\gamma_t + \alpha$	"	600	120	$\gamma_t$	" 613	700	2	$\gamma_t + Si$	" 623	600	120	$\epsilon_{2a} + Si$
"	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$	"	500	8	$\gamma_t$	"	600	120	$\gamma_t + Si$	"	450	1ヶ月	$\delta + \zeta_2 + Si$
" 607	800	12	$\beta + \gamma_t$	" 609	700	2	$\gamma_t$	"	450	1ヶ月	$\gamma_t + Si$	" 629	600	120	$\eta_1 + \text{熔體}$
"	700	2	$\beta + \gamma_t$	"	600	120	$\gamma_t + \text{少量 } \epsilon_s$	" 618	700	2	$\gamma_t + Si$	"	450	1ヶ月	$\eta_2 + Si$
"	600	120	$\gamma_t + \alpha$	"	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s''$	" 620	700	2	$\gamma_t + \epsilon_{2a} + Si$	" 630	450	1ヶ月	$\eta_2 + \theta + Si$
TSA 10 Series.															
TSA 1005	700	2	$\gamma_t + \epsilon_s + Si$	TSA 1008	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + Si$	TSA 1012	600	120	$\gamma_t + Si$	TSA 1020	600	120	$\delta + \epsilon_{2a} + Si$
"	600	120	$\gamma_t + \epsilon_s + Si$	" 1009	700	2	$\gamma_t + Si$	"	450	1ヶ月	$\gamma_t + Si$	" 1025	600	120	$\epsilon_{2a} + \eta_1 + Si$
"	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + Si$	"	600	120	$\gamma_t + Si$	" 1015	700	2	$\gamma_t + Si$	"	450	1ヶ月	$\zeta_2 + \eta_2 + Si$
" 1008	700	2	$\gamma_t + \epsilon_s + Si$	"	450	1ヶ月	$\gamma_t + \epsilon_s'' + Si$	"	600	120	$\gamma_t + Si$				
"	600	120	$\gamma_t + \epsilon_s + Si$	" 1012	700	2	$\gamma_t + Si$	" 1020	700	2	$\gamma_t + \epsilon_{2a} + Si$				
TSA 12 Series.															
TSA 1205	700	2	$\gamma_t + \epsilon_s + Si$	TSA 1210	600	120	$\gamma_t + Si$	TSA 1220	500	120	$\delta + \zeta_2 + Si$	TSA 1230	500	120	$\eta_2 + \theta + Si$
"	600	120	$\gamma_t + \epsilon_s + Si$	" 1215	600	120	$\gamma_t + Si$	" 1225	600	120	$\eta_1 + Si$				
" 12C8	600	120	$\gamma_t + \epsilon_t + Si$	" 1220	600	120	$\epsilon_{2a} + \delta + Si$	"	500	120	$\eta_2 + Si$				
TSA 20 Series.															
TSA 2005	700	2	$\gamma_t + \epsilon_s + Si$	TSA 2010	500	120	$\gamma_t + Si$	TSA 2020	500	120	$\delta + \zeta_2 + Si$	TSA 2050	500	120	$\theta + \alpha + Si$
"	600	120	$\gamma_t + \epsilon_s + Si$	" 2015	600	120	$\gamma_t + Si$	" 2025	500	120	$\eta_2 + \theta + Si$	" 2060	500	120	$\alpha + \theta + Si$
"	500	120	$\gamma_t + \epsilon_s'' + Si$	"	500	120	$\gamma_t + Si$	" 2030	500	120	$\eta_2 + \theta + Si$				
" 2010	600	120	$\gamma_t + Si$	" 2020	600	120	$\epsilon_{2a} + Si$	" 2040	500	120	$\theta + \alpha + Si$				

第 31 表

番號	成分%			熱 處 理				番號	成分%			熱 處 理			
	Cu	Si	Al	800°C -8時	700°C -1日	600°C -7日	400°C -1ヶ月		Cu	Si	Al	800°C -8時	700°C -1日	600°C -7日	400°C -1ヶ月
C 12	97.40	0.85	Rest	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	C 38	87.97	3.12	Rest	$\beta$	$\beta$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_t$
" 13	96.03	0.71	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 41	95.08	3.92	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
" 14	94.71	0.83	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 42	94.01	3.91	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
" 15	93.95	0.98	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 43	92.15	3.90	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
" 16	93.43	0.91	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 45	91.10	4.12	"	$\beta + \alpha$	$\alpha$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_t$
" 17	92.05	0.87	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 46	89.97	4.03	"	$\beta + \alpha$	$\alpha + \beta$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_t$
" 18	91.10	0.93	"	$\alpha + \beta$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 51	94.20	5.11	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha + \gamma_t$
" 110	89.06	0.97	"	$\beta$	$\alpha + \beta$	$\alpha + \beta$	$\alpha + \gamma_t$	" 52	93.15	5.17	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha + \gamma_t$
" 21	97.13	1.89	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 54	90.96	5.00	"	$\beta + \alpha$	$\alpha + \beta$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_t + \epsilon_s''$
" 22	96.13	1.91	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 56	89.04	4.87	"	$\beta$	$\beta$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_t$
" 23	95.03	1.97	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	T 61	93.15	5.59	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha + \gamma_s$
" 24	93.95	1.98	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 62	92.28	5.79	"	$\alpha + \beta$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_s$	$\alpha + \gamma_s$
" 25	92.82	2.11	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 63	91.33	5.49	"	$\alpha + \beta$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + X$	$\alpha + \gamma_t + \epsilon_s''$
TSA 26	92.11	2.05	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 64	90.16	5.62	"	$\beta$	$\beta + \alpha$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_t + \epsilon_s''$
" 28	90	2	"	$\beta + \alpha$	$\beta + \alpha$	$\alpha + \beta$	$\alpha + \gamma_t$	" 65	89.18	5.76	"	$\beta$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_t + \epsilon_s''$
" 210	87.71	2.01	"	$\beta$	$\beta$	$\beta + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_t$	" 17	92.34	6.63	"	$\alpha + \beta$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + X$	$\alpha + \gamma_s$
C 32	94.96	2.97	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 27	90.95	6.87	"	$\beta$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + X$	$\alpha + \gamma_t + \epsilon_s''$
" 34	92.94	2.89	"	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 37	90.43	6.52	"	$\beta$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_t + X$	$\alpha + \gamma_t + \epsilon_s''$
" 36	91.02	2.93	"	$\alpha + \beta$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	" 47	89.35	6.54	"	$\alpha + \gamma_t$	$\beta + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_t$	$\alpha + \gamma_t + \epsilon_s''$

する。寫眞 32 は  $\gamma_t$  晶より針状の X 晶が析出した状態を示したものに於て 600°C より水中焼入した組織である。X 晶は腐蝕後日時を經過するに従ひ濃紅色に染汚せらるゝを以て容易に識別することが出来る。T 608 は 86.0% Cu 及び 6.0% Si を含み Al を約 8% 含む合金であるが此合金は初晶として  $\gamma_t$  相を 2 次晶として  $\gamma_t + \epsilon_s$  晶を晶出して凝固する。故に此物の 600°C より焼入した組織は  $\gamma_t + \epsilon_s$  相共存を示すべく寫眞 33 の如きものとなる。 $\gamma_t$  晶は白色で  $\epsilon_s$  晶は灰褐色を呈す。

寫眞 34 は TSA 106 合金 (83.88% Cu, 10.62% Si) を 500°C より焼入した組織で  $\gamma_t + \epsilon_s'' + Si$  3 相共存組織を示す白色は  $\gamma_t$  晶、黒褐色の縞の多い部分が  $\epsilon_s''$  晶で此等兩晶の間に針状並に角張つた小結晶の見えるのが Si である。

4) Si 6, 10, 12 及び 20% を含み Cu, Al 2 元系に平行なる断面の検鏡結果 此断面は第 18~21 圖に示す TSA 6, 10, 12, 20 Series に屬するもので各 2 元系状態圖の各相が互に 3 元平衡關係を保つて居るのみで 3 元系として特殊の組織を呈せざるを以て簡単に第 30 表に例記することにした。寫眞 35 は TSA 1,005 合金の爐中冷却組織にして同合金は Cu を 85.0% Si 10.11%, Al 約 5% を含む。灰色の初晶  $\gamma_t$  が 2 次晶  $\gamma_t + \epsilon_s$ 、及び 3 次晶  $\gamma_t + \epsilon_s + Si$  によつて包まれて居る。針状並に細長い Si は 3 元共晶反應、熔態  $\Rightarrow \gamma_t + \epsilon_s + Si$ 、によりて晶出したものである。

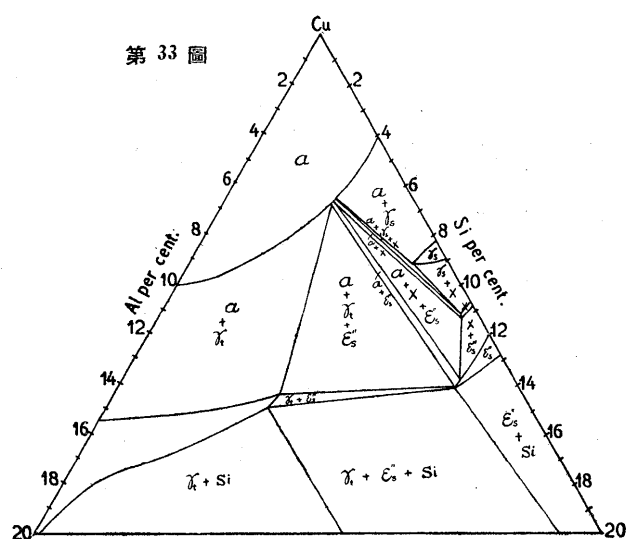
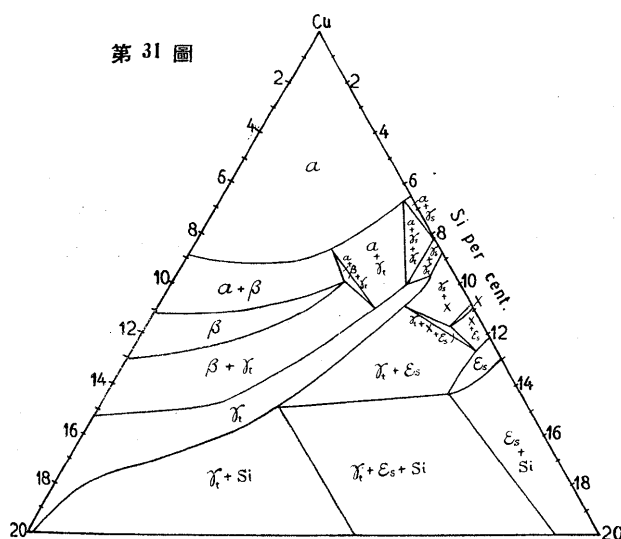
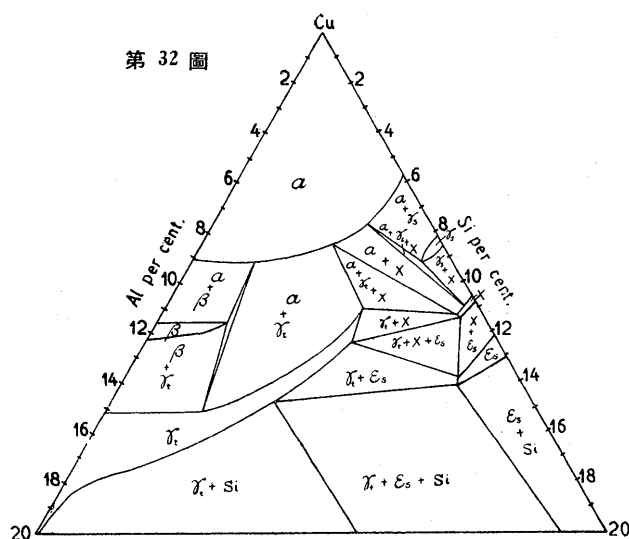
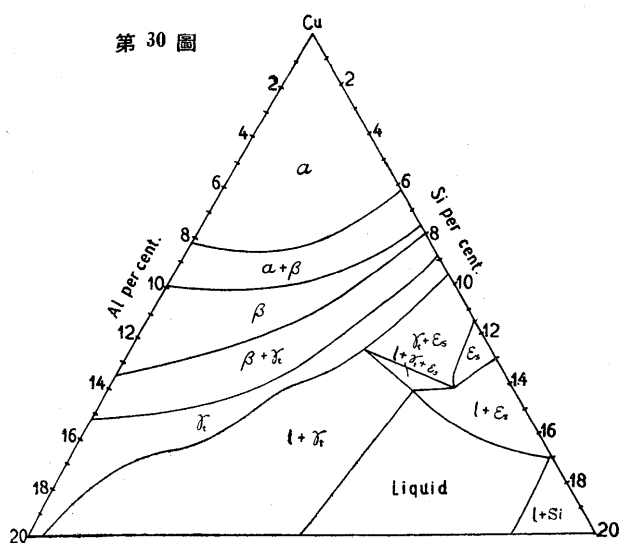
TSA 1208 合金 (Cu 80%, Si 12%, Al 8%) の爐中冷却した組織は寫眞 36 に示すが如く Si の角張つた大きい灰青色の Si が 2 元共晶反應、熔態  $\Rightarrow Si + \gamma_t$ 、によつて

$\gamma_t$  晶にかこまれ、ついで 3 元共晶反應、熔態  $\Rightarrow Si + \gamma_t + \epsilon_s$ 、によつてつゝまれて居ることが明瞭に判る。最後に凝固した組織は 3 相が明らかに認められる。丁度寫眞 33 の  $\gamma_t + \epsilon_s$  2 相共存組織に Si が點在して居るものと考へればよい。寫眞 37 は Cu 68%, Si 12%, Al 20% を含む合金を熔態より徐冷した組織にして  $\delta + \zeta_2 + Si$  の 3 相共存を示して居る。

**C. 銅の 3 元固溶態範圍** Cu に Si, Al の固溶する限界即ち  $\alpha$  固溶體の範圍は工業的に見て重要なものであるからして筆者は特に此範圍決定に必要な合金を調製して充分焼鈍して検鏡試験を行つた。

試料の組成は第 31 表の第 2 行に記述しある如く Si 1~6%, Al 1~10% の間にして加熱温度は 800°, 700°, 600°, 400°C の 4 種類とし加熱時間は 800°C は 8 時間 700°C は 1 日、600°C は 7 日、400°C は 1 ヶ月とし何れも温度調節器を使用した。尙加熱に際しては所要温度以上 900°C 近く迄熱し約 6 時間保持し次に爐中冷却を行つて所要温度に持ち來した後其温度に長時間焼鈍したのである。實驗結果は第 31 表に記載してある。又是等の結果より得た 800°, 700°, 600°, 及び 400°C に於ける等温平衡状態圖を夫々第 30, 31, 32 及び 33 圖に示してある。

何れの等温状態圖を見ても  $\alpha$  相の境界曲線は銅隅より見て稍々凸形をなして居る。Si の最大固液限は Cu, Si 2 元系状態圖と同様な形勢を示し 700°C に於て Cu, Si 側附近に最大を示し此温度の上下とも Si の固溶限は減少して居る。



例記すれば  $700^{\circ}$  に於て  $Cu$  は 2%  $Al$  存在の下で 5.7%  $Si$  を固溶し得るが  $800^{\circ}$  及び  $600^{\circ}C$  になると溶解度が減少して夫々 5.2% 及び 5.5% となる。

$Al$  の溶解度は  $Si$  の添加に従ひ次第に減少する  $Cu$ ,  $Al$  2 元系の  $Al$  の溶解度は約 10% であるが約 1%  $Si$  を含むと溶解度は  $400^{\circ}C$  に於て約 9% となる。

更に  $Si$  を添加すると  $Cu$  に對する  $Al$  の溶解度は著しく減少する。

第 30 圖を見ると  $800^{\circ}C$  に於ける固相は  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma_t$  及び  $\epsilon_s$  晶の均一相か其等の 2 相共存のみであるが  $700^{\circ}$ ,  $600^{\circ}C$  になると第 31, 32 圖に示すが如く上記の 4 相以外に  $\gamma_s$ ,  $X$  及び  $Si$  の 3 相が増加し各固相間に於て 2 相或は 3 相共存の平衡關係を示す様になる。

更に温度が降り  $400^{\circ}$  となると第 33 圖の如き平衡關係となり此状態を大體常温に於ても保つて居る。

寫眞 38 と 39 は  $700^{\circ}C$  に於ける  $\alpha$  相と平衡を保つ 2 相共存組織を示したもので前者は  $\alpha+\beta$ , 後者は  $\alpha+\gamma$  を示す。前者の  $\beta$  相は寫眞に於て  $\alpha$  晶の粒界に小さく黒く見えるものにして後者の  $\gamma_t$  は矢張り  $\alpha$  晶粒境に肉眼にては灰青色に見えるが寫眞には明瞭に現れ難い。

$\alpha$  晶は常に双晶を呈して居るが殊に  $\alpha$  均一相と異相區域との境界近くのものには條痕が非常に多く現れる。

#### IV. $Al$ を主成分とする $Al-Cu-Si$ 合金の状態圖

**A. 熱分析** 熱分析は III の場合と同様示差法を用ひ使用合金は  $Si$  含有量を 2, 4, 6 及び 8% とし  $Cu$  量を 5~10% 置きにとつた。變化點並に轉移點は第 32~35 表に示すが如く、是等の結果を顯微鏡試験を併せ考察して第 34~37 圖に示す断面平衡状態圖を得た。

第 32 表 CA Series. (2% Silicon)

番 號	分析 成分			變化並に轉移溫度°C			
	Cu%	Si%	Al%				
CA 1	9.98	1.89	Rest	621	—	524	520
" 2	20.01	2.00	"	590	—	542	517
" 3	25.12	2.13	"	563	—	548	518
" 4	30.05	2.09	"	546	—	—	521
" 5	34.65	2.03	"	550	—	—	522
" 6	39.70	2.01	"	566	—	—	524
" 7	44.80	2.16	"	575	—	530	521
TSA 248	46.36	2.18	"	578	—	520	—
" 247	51.03	2.22	"	580	—	572	518
" 246	51.91	2.31	"	580	—	573	—
" 245*	53.00	2.00	"	590	—	578	570
" 244	53.86	2.20	"	602	—	573	—
" 240	57.14	2.03	"	625	608	573	568
" 235*	63.00	2.00	"	690	614	574	570

\* 配合のまゝ

第 33 表 CB Series. (4% Silicon)

番 號	分析 成分			變化並に轉移溫度°C			
	Cu%	Si%	Al%				
CB 1	10.00	4.02	Rest	603	543	520	—
" 2	21.00	3.85	"	554	528	517	—
" 3	25.62	4.12	"	538	—	523	—
" 4	30.02	4.04	"	537	—	523	—
" 5	34.92	3.95	"	550	—	523	—
" 6	40.31	4.17	"	560	—	523	—
TSA 450	46.28	3.92	"	575	—	520	—
" 445	51.18	4.03	"	580	570	556	—
" 440*	56.00	4.00	"	620	606	586	568
" 435	61.13	3.89	"	679	624	610	568

\* 配合のまゝ

第 34 表 CC Series. (6% Silicon)

番 號	分析 成分			變化並に轉移溫度°C			
	Cu%	Si%	Al%				
CC 1	9.85	5.86	Rest	593	560	522	—
" 2	14.03	6.11	"	575	548	521	—
" 3	20.33	6.02	"	550	—	523	—
" 4	27.88	6.24	"	535	—	522	—
" 5	35.08	5.88	"	550	537	522	—
" 6	40.17	5.96	"	561	550	523	—
" 7	48.23	6.00	"	575	—	523	—
" 8	51.06	6.03	"	592	573	—	—
" 9	54.00	5.89	"	626	606	588	570
" 10	57.31	6.12	"	634	608	590	569
" 11	60.67	5.93	"	651	636	600	584

第 35 表 CD Series. (10% Silicon)

番 號	分析 成分			變化並に轉移溫度°C			
	Cu%	Si%	Al%				
CD 1	5.03	10.06	Rest	575	565	520	—
" 2	10.14	10.15	"	563	—	522	—
" 3	15.08	9.92	"	570	550	519	—
" 4	20.13	10.00	"	575	541	522	—
" 5	25.00	9.85	"	585	—	523	—
" 6*	30.00	10.00	"	600	534	521	—
" 7	40.15	9.83	"	650	563	518	—
" 8*	45.00	10.00	"	676	568	518	—
" 9	50.30	9.86	"	700	608	572	568
" 10	55.27	10.32	"	760	647	607	572

\* 配合のまゝ

以上の結果より Al 隅に於ける平衡状態圖は第 38 圖の

第 36 表

二元	反應 曲線	反應 曲線	反應 曲線	反應 曲線
"	共晶	$IO_8$	熔態	$\rightleftharpoons \kappa + \theta$
"	"	$P'O_8$	"	$\rightleftharpoons \kappa + Si$
"	"	$O_7O_8$	"	$\rightleftharpoons \theta + Si$
"	"	$O_6O_7$	"	$\rightleftharpoons \eta_1 + Si$
"	"	$O_5O_7$	"	$\rightleftharpoons \epsilon_{2a} + Si$
"	包晶	曲線 $HO_7$	"	$+ \eta_1 \rightleftharpoons \theta$
"	"	曲線 $GO_6$	"	$+ \epsilon_{2a} \rightleftharpoons \eta_1$
"	共析	曲線 $W_1W_1$	$\kappa \rightleftharpoons$	$\theta + Si$

如きものにして此圖中に於ける Al(K) の初晶面は JIO, P' にして  $\theta$  相,  $\eta_1$  相,  $\epsilon_{2a}$  相及び Si の初晶面は夫々 H  $O_7O_8$ ,  $GO_6O_7H$ ,  $FO_4O_5O_6G$  及び  $Si P'O_8O_7O_6$  である

1 變系反應は第 36 表にまとめて記載してある如く 5 つの 2 元共晶反應、2 つの包晶反應及び 1 つの共析反應がある。この中の 2 つの包晶反應は Al, Cu 2 元系の  $熔態 + \eta_1 \rightleftharpoons \theta$  及び  $熔態 + \epsilon_{2a} \rightleftharpoons \eta_1$  によるもので是等は 3 元系になると圖の如く變化して  $\theta_6, \theta_7$  點に於て包共晶反應を

呈す。この不變系の組織的檢證は 2 元系の場合と同様典型的包晶組織を示さざれども熱分析に於ては 608° と 573° に於て夫々明瞭に認められる。即ち次の如き反應をなすのである。



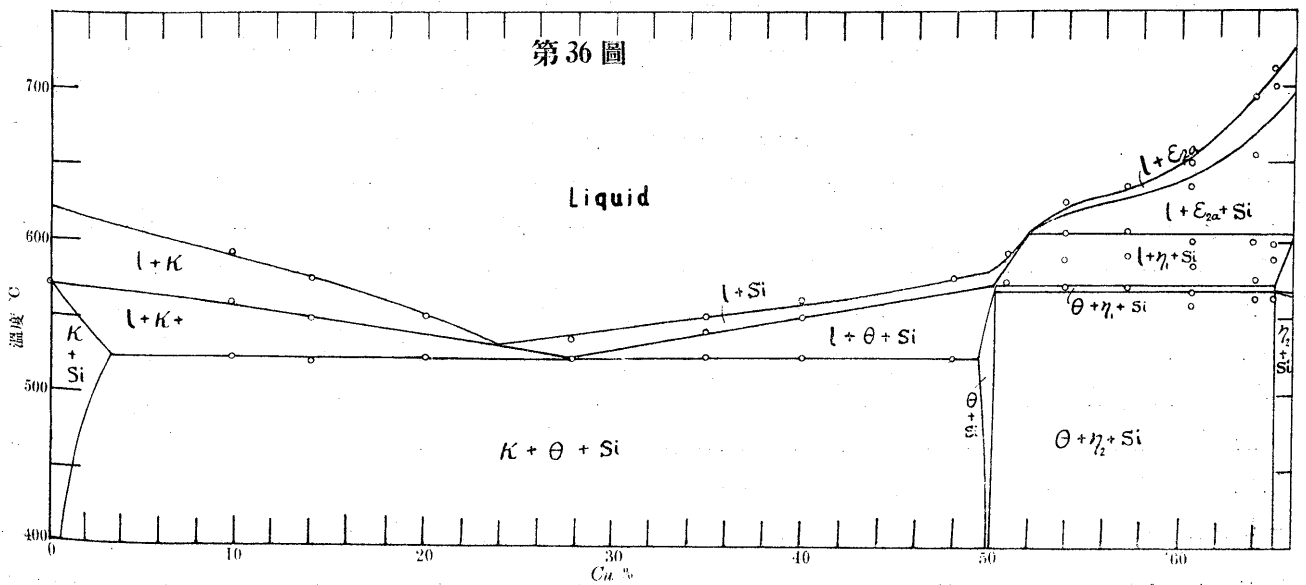
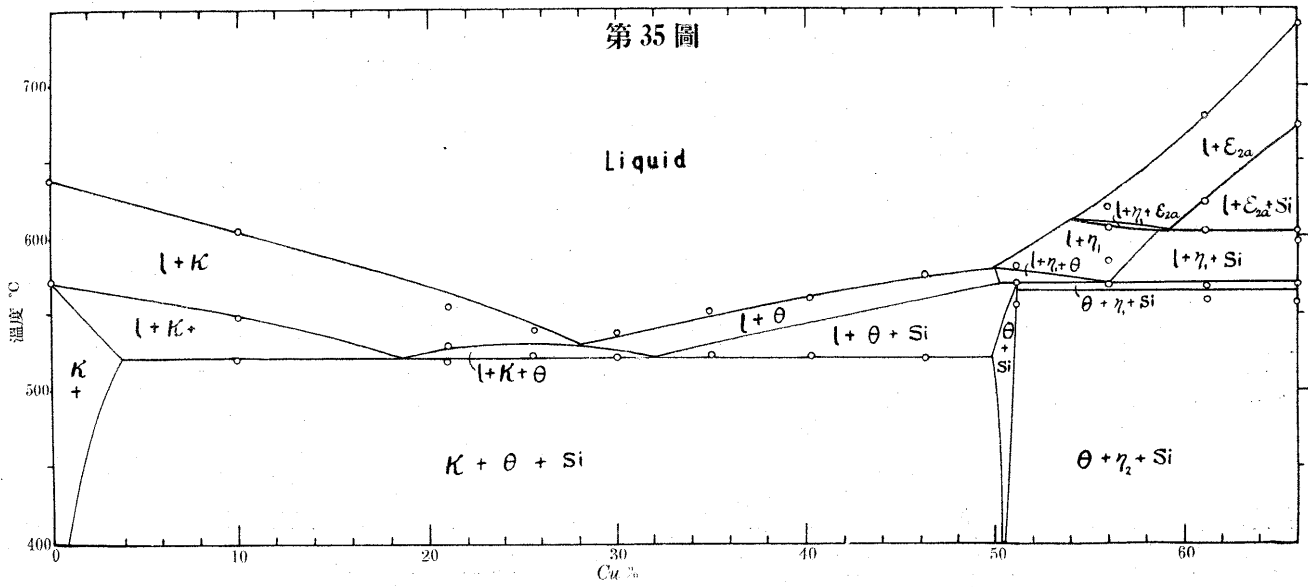
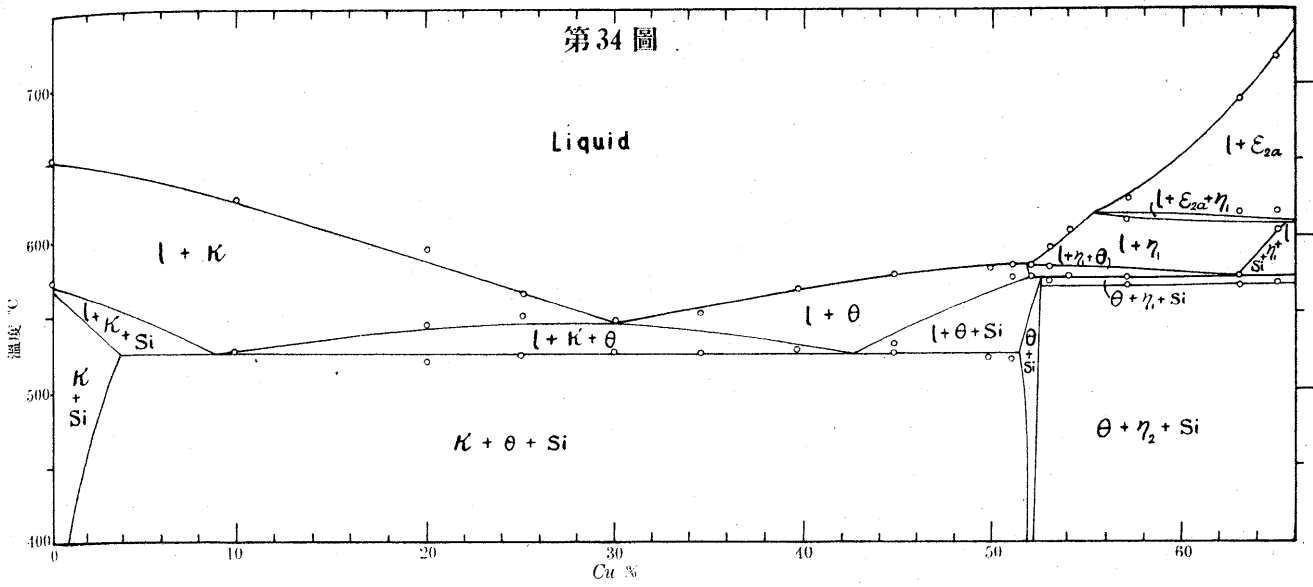
尚此等包共晶反應以外に  $O_8$  點に於て 3 元共晶反應が存在し其反應溫度は 522° である。この 3 元共晶點は數多の研究者によつて發表されたものである。

以上の不變系反應の組成溫度及び範圍を表記すれば第 37 表の如くなる。

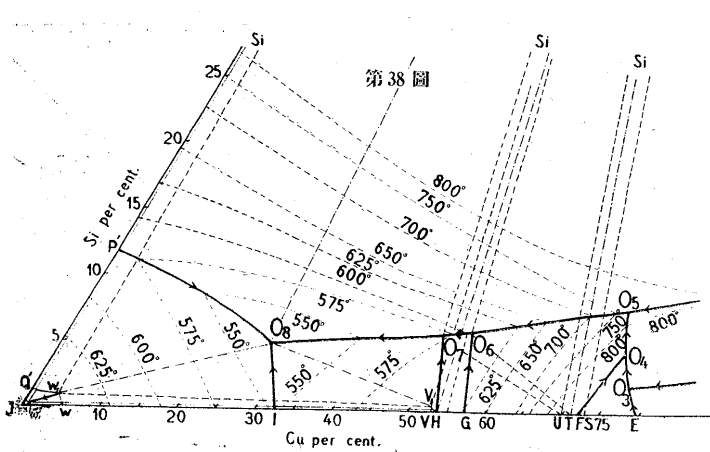
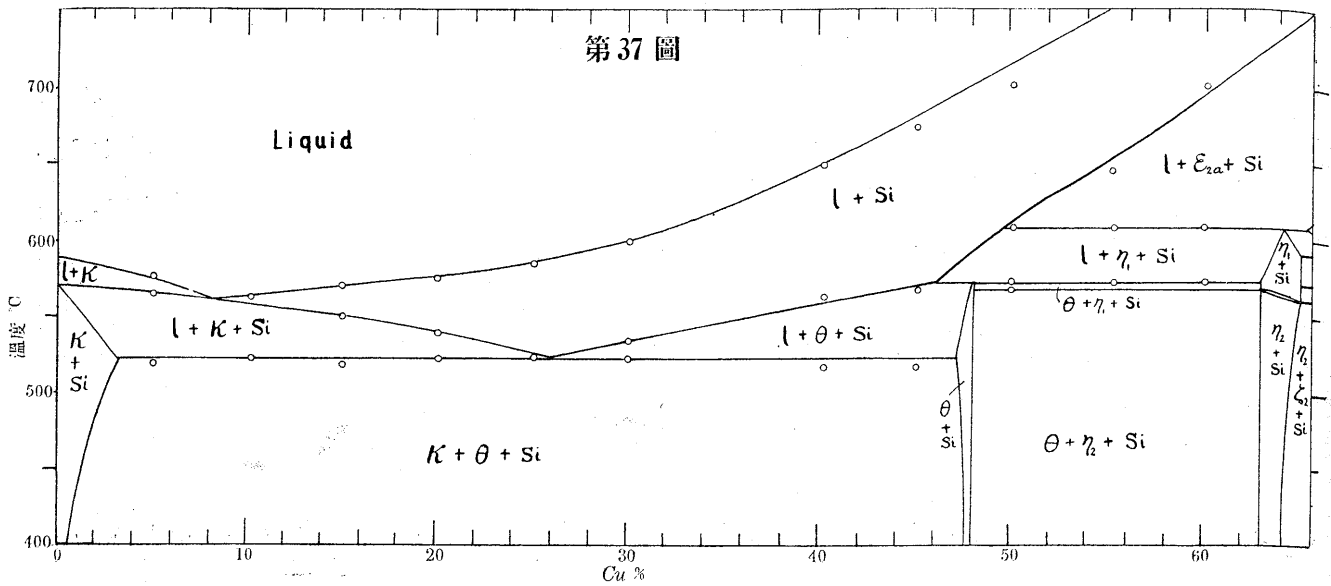
第 37 表

不變點	成分			溫度 °C	反應	反應範圍
	Cu%	Al%	Si%			
$O_6$	52.0	42.0	6.0	608	$熔態 + \epsilon_{2a} \rightleftharpoons \eta_1 + Si$	Si $STO_6Si$
$O_7$	49.0	46.0	5.0	573	$熔態 + \eta_1 \rightleftharpoons \theta + Si$	Si $UHO_7Si$
$O_8$	27.0	68.0	5.0	522	$熔態 \rightleftharpoons \theta + \kappa + Si$	Si $V_1W_1Si$

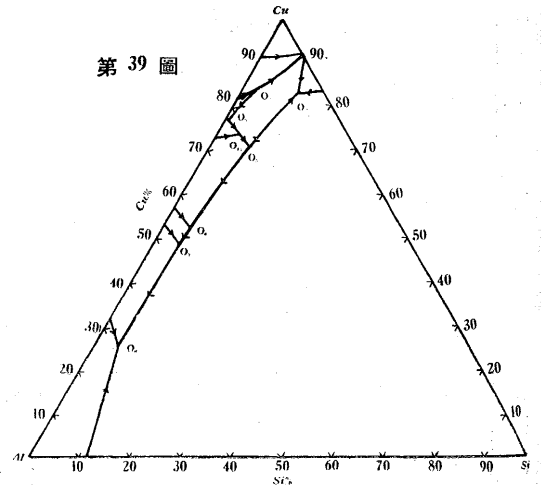
B. 檢鏡試驗 檢鏡試驗によると珪素は既述の如く腐



第37圖



第39圖



蝕前に於て淡青色を呈し尙其特異の結晶形のため容易に識別し得られる許りでなく腐蝕液に對して作用されず判別し易い。 $\theta$  晶は角張つた形態によつて判定し得られ腐蝕前は多少薄い桃色を呈するが硝酸鹽類殊に溫硝酸で腐蝕すると褐色乃至黒褐色となる。

$\eta_1$  晶は初晶として晶出する時は2元系の場合と同様棒狀の細長い結晶として現はれるを以て容易に判定し得られる又このものは溫硝酸には極く僅しか作用されない。

$\epsilon_{2a}$  の初晶は常に樹枝狀乃至花房狀を呈し甚しく分解した條痕の多い組織を示す。これは固態間に於ける數段の變化のためである。

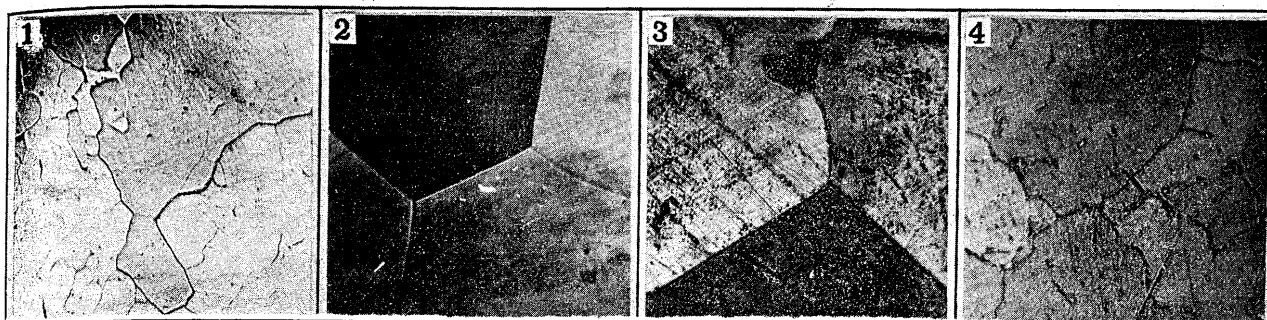
$JP'O_8I$  範圍の合金は初晶  $Al$ , 2 次晶  $Al-Si$ , 或は  $Al-\theta$  晶, 3 元共晶  $Al, \theta, Si$  よりなり此等の存在割合は組成によつて異なる。 $IO_8O_7H$  範圍の合金は初晶  $\theta$ , 2 次晶  $\theta-Al$  或は  $\theta-Si$  共晶, 3 次晶  $Al-\theta-Si$  よりなる。寫眞 40 は此範圍の例にして  $CA 7$  合金 (44.8%  $Cu$ , 2.16%

$Si$ ) の爐中冷却組織にして初晶  $\theta$  は大きく四角に現れ 2 次晶  $Si$  は針狀に散在し此等を 3 元共晶  $Al, \theta, Si$  が包んで居る。 $Al (\kappa)$  は白く見える。

$SiP'\theta_8Si$  範圍の合金は初晶珪素を晶出し次に 2 元共晶反應、熔態  $\Rightarrow \kappa + Si$  或は 熔態  $\Rightarrow \theta + Si$ , により  $\kappa$  或は  $\theta$  を晶出し最後に  $O_8$  點に於ける 3 元共晶反應を以て凝固するこの範圍の組織の一例として  $Cu 35.08\% Si 5.88\% Al$  殘分なる組成を有する  $CC5$  合金の爐中冷却せしものを寫眞 41 に示す。初晶  $Si$  は角張つた中間色を呈し 2 次の細長い  $Si$  及び  $\theta$  晶が其れを包んで居る。 $\theta$  は黒褐色に見える。 $\kappa$  は白色にして之は 3 元共晶反應によりて生じたものである。

$\eta_1$  晶の初晶面は  $GO_6O_7H$  にして組成により 2 次晶は  $O_6O_7$  (熔態  $\Rightarrow \eta_1 + Si$ ) 及び  $HO_7$  (熔態  $\Rightarrow \eta_1 + \theta$ ) に沿ふて變化する。初晶  $\eta_1$  は棒狀の長い結晶を呈するを以て容易に判別することが出来る。寫眞 42 は棒狀の  $\eta_1$  初晶の組

## 顕微鏡写真 No. 1~42

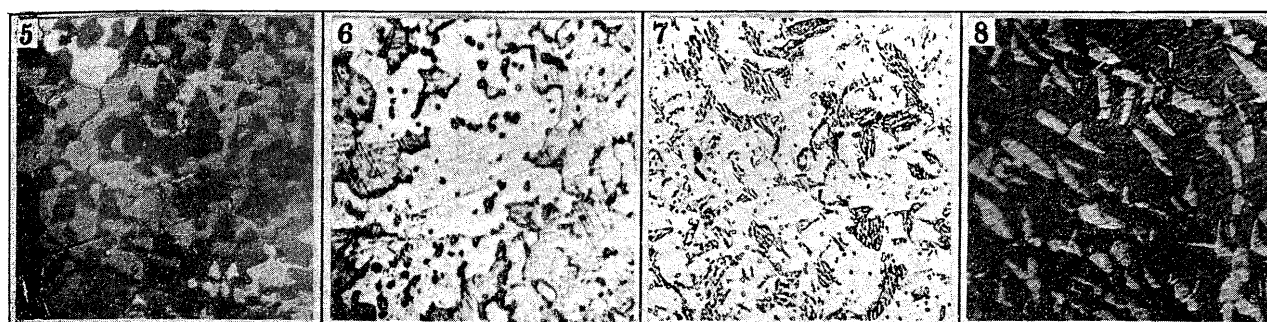


① TSA 412 (Cu 84.28%, Si 4.00%) 500°C より水中焼入  
 $\gamma_t$   $\times 100$ .

② TSA 116 (Cu 82.43%, Si 1.01%) 920°C より水中焼入  
 $\gamma_a$   $\times 100$ .

③ TSA 116 (Cu 82.43%, Si 1.01%) 850°C より水中焼入  
 $\gamma_t$   $\times 100$ .

④ TSA 118 (80.38% Cu, Si 1.02%) 510°C より水中焼入  
 $\gamma_t + Si$   $\times 100$ .

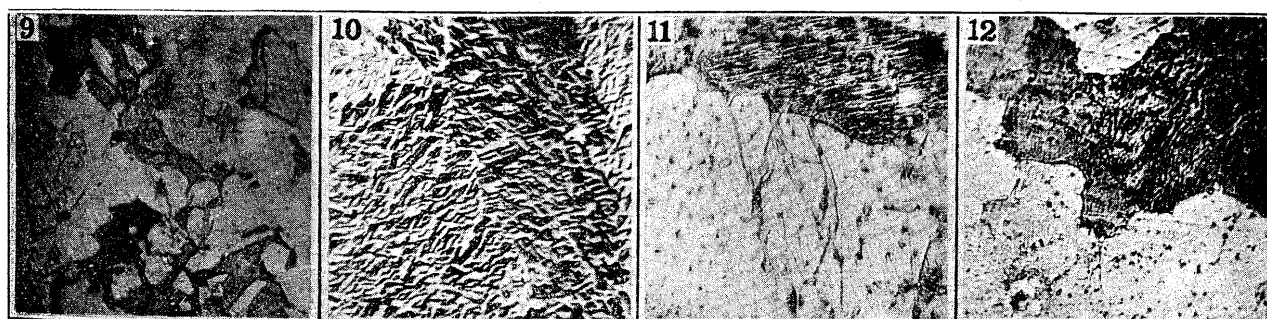


⑤ TSA 119 (Cu, 79.59%, Si 1.26%) 510°C より水中焼入  
 $\gamma_t + \delta + Si$   $\times 100$ .

⑥ TSA 121 (78.1% Cu, 1.02% Si) 670°C より水中焼入  
 $\delta + Si$   $\times 100$ .

⑦ TSA 121 (78.1% Cu, 1.02% Si) 730°C より水中焼入  
 $\gamma_t + \epsilon_{2a} + Si$   $\times 100$ .

⑧ TSA 122 (76.78% Cu, 1.14% Si) 600°C より水中焼入  
 $\delta + \epsilon_{2a} + Si$   $\times 100$ .

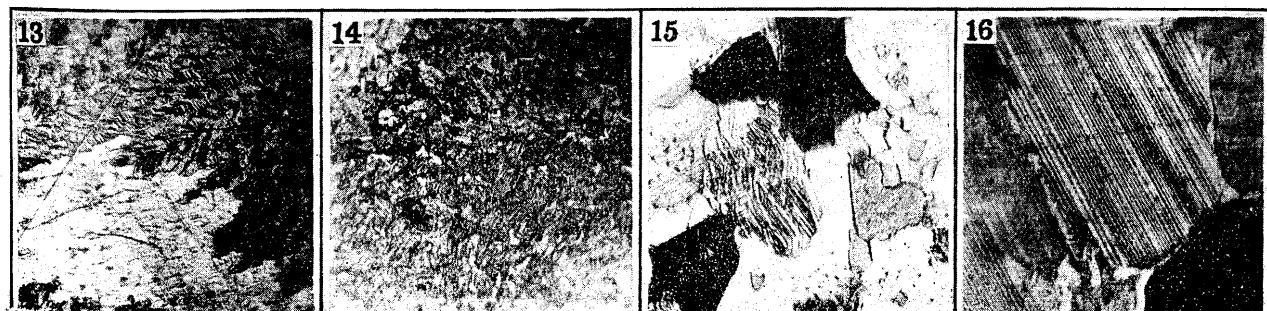


⑨ T 422 (74.0% Cu, 4.0% Si) 600°C より水中焼入  
 $\delta + \epsilon_{2a} + Si$   $\times 150$ .

⑩ TSA 123 (75.86% Cu, 1.27% Si) 550°C より水中焼入  
 $\delta + \zeta_1 + Si$   $\times 150$ .

⑪ TSA 126 (73.11% Cu, 1.04% Si) 600°C より水中焼入  
分解した  $\epsilon_{2a} + Si$   $\times 100$ .

⑫ TSA 124 (75.12% Cu, 1.30% Si) 600°C より水中焼入  
 $\epsilon_{2a} + Si$   $\times 100$ .

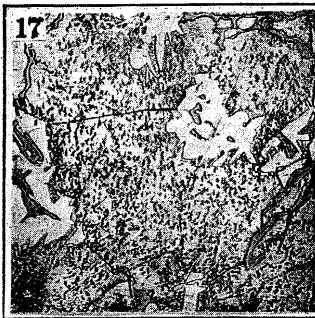


⑬ TSA 125 (73.88% Cu, 1.19% Si) 550°C より水中焼入  
 $\zeta_1 + Si$   $\times 150$ .

⑭ TSA 227 (71.00% Cu, 2.00% Si) 550°C より水中焼入  
 $\zeta_2 + \eta_2 + Si$   $\times 150$ .

⑮ TSA 128 (70.73% Cu, 1.26% Si) 570°C より水中焼入  
 $\eta_2 + Si$   $\times 150$ .

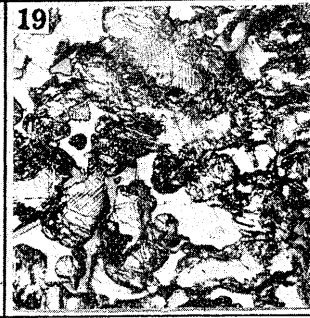
⑯ TSA 420 (75.73% Cu, 4.28% Si) 600°C より水中焼入  
双晶模様の  $\delta + Si$   $\times 100$ .



17 TSA 423 (72.91% Cu, 4.00% Si) 爐中冷却  
 $\zeta_2 + \delta + Si$   $\times 100$ .



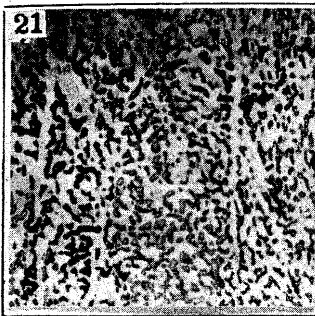
18 TSA 426 (70% Cu, 4% Si) 爐中冷却  
 $\eta_2 + \zeta_2 + Si$   $\times 100$ .



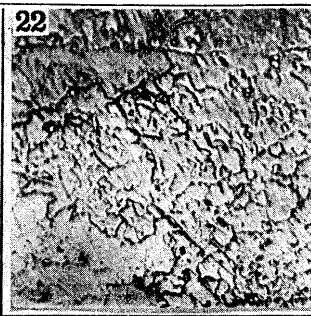
19 TSA 430 (66.69% Cu, 4.21% Si) 爐中冷却  
 $\eta_2 + \theta + Si$   $\times 100$ .



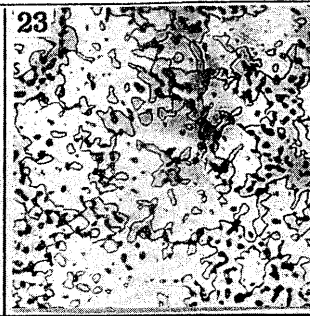
20 T 17 (6.63% Si, 92.34% Cu) 765°C より水中焼入  
 $\alpha + \beta + \gamma_t$   $\times 100$ .



21 T 17.5 (7.21% Si, 91.55% Cu) 600°C より水中焼入  
 $\alpha + \gamma_s$   $\times 100$ .



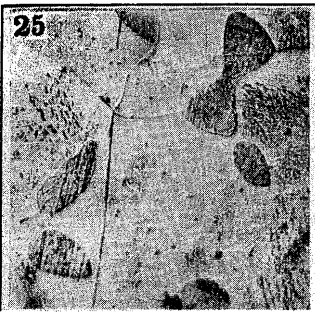
22 T 18 (7.98% Si, 90.77% Cu) 1ヶ月 450° に焼鈍し、しかる後水中焼入す  $\gamma_s$   $\times 100$ .



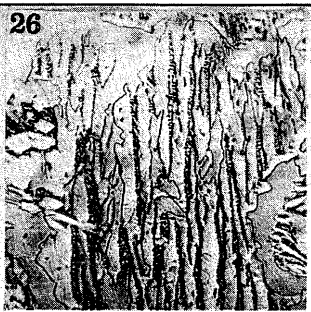
23 T 19 (8.78% Si, 90.11% Cu) 600°C より水中焼入  
 $\gamma_s + X + \alpha_s$   $\times 100$ .



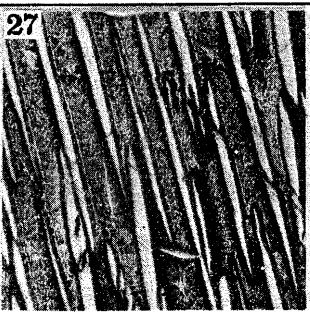
24 T 110 (9.72% Si, 89.26% Cu) 760°C より水中焼入  
 $\gamma_t + \epsilon_s$   $\times 100$ .



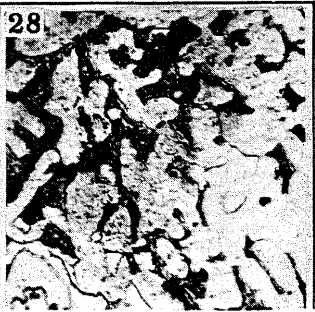
25 T 110 (9.72% Si, 89.26% Cu) 740°C より焼入  
 $\gamma_t + X$   $\times 100$ .



26 T 110 (9.72% Si, 89.26% Cu) 爐中冷却  
分解した  $\gamma_t + \epsilon_s$   $\times 100$ .



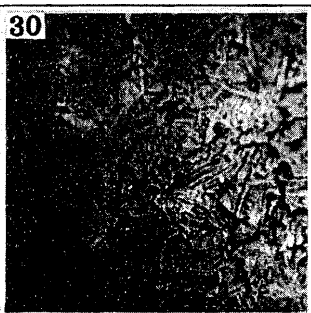
27 T 28.5 (8.42% Si, 89.39% Cu) 爐中冷却  
分解した  $\gamma_t$   $\times 50$ .



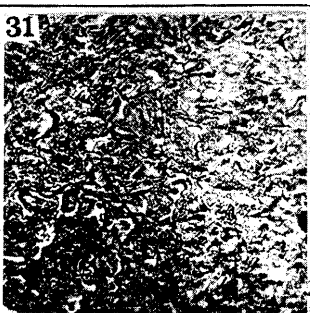
28 T 28.5 (8.42% Si, 89.39% Cu) 600°C より焼入  
 $\gamma + X + \alpha$   $\times 300$ .



29 T 38 (89.62% Cu, 7.47% Si) 600°C より焼入  
 $\gamma_t + X + \alpha$   $\times 100$ .



30 T 38 (89.62% Cu, 7.47% Si) 450°C より焼入  
 $\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$   $\times 100$ .

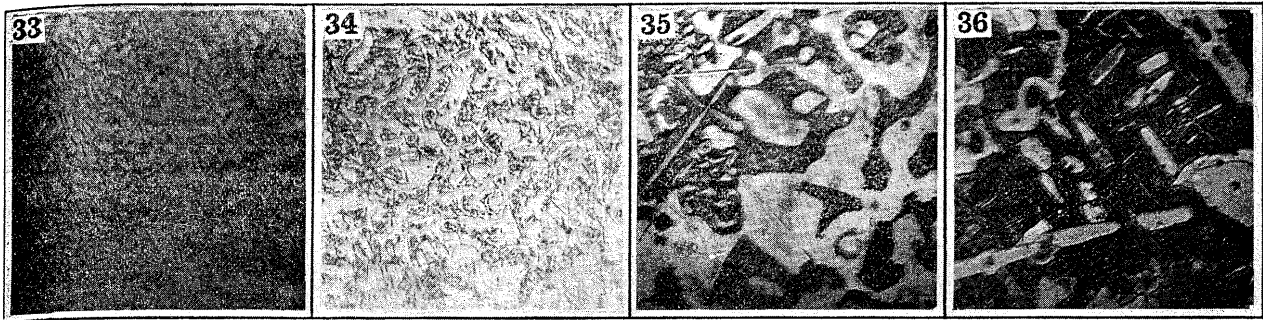


31 T 47 (89.35% Cu, 6.54% Si) 450°C より水中焼入  
 $\gamma_t + \epsilon_s'' + \alpha$   $\times 100$ .



32 T 48 (88.30% Cu, 7.63% Si) 600°C より水中焼入  
 $X + \gamma_t$   $\times 100$ .



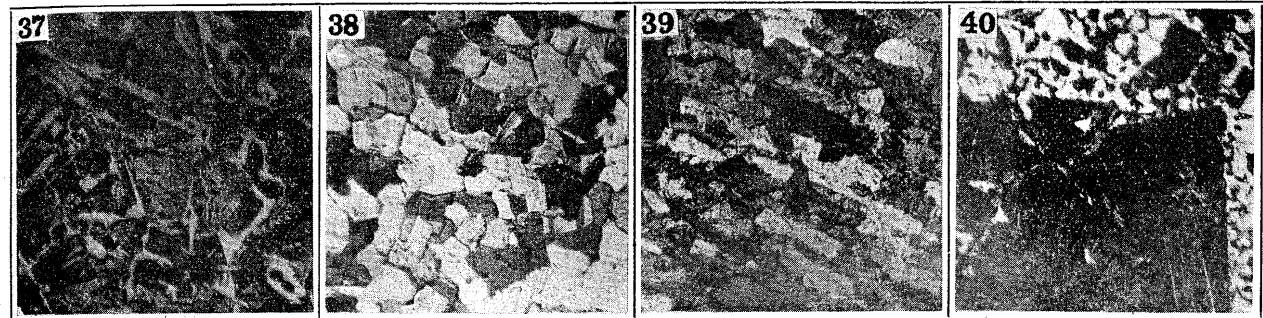


③③ T608 (86.0% Cu, 6.0% Si) 600° より水中焼入  
 $\gamma_t + \epsilon_s$  ×100

③④ TSA 106 (83.88% Cu, 10.62% Si) 500° より水中焼入  
 $\gamma_t + \epsilon'_s + Si$  ×100

③⑤ TSA 1005 (85.0% Cu, 10.11% Si) 爐中冷却  
 $\gamma_t + \epsilon'_s + Si$  ×100

③⑥ TSA 1208 (80.0% Cu, 12% Si) 爐中冷却  
 $Si + \gamma_t + \epsilon_s'$  ×150

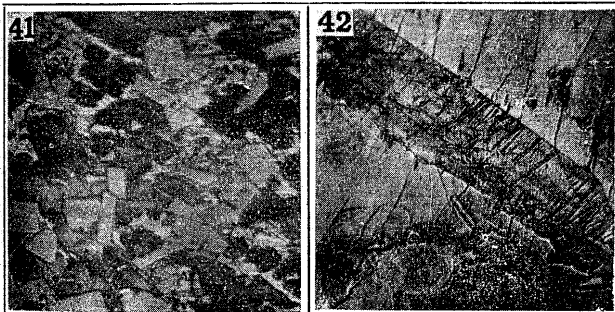


③⑦ TSA 1220 (68% Cu, 12% Si) 爐中冷却  
 $\zeta_1 + \delta + Si$  ×100

③⑧ C54 (90.96% Cu, 5.0% Si) 700° より水中焼入  
 $\alpha + \beta$  ×150

③⑨ T63 (91.33% Cu, 5.49% Si) 700° より水中焼入  
 $\alpha + \gamma_t$  ×100

④⑩ CA7 (44.80% Cu, 2.16% Si) 爐中冷却  
 $\theta + Si + K$  ×50



④⑪ CC5 (35.08% Cu, 5.88% Si) 爐中冷却  
 $\eta_1 + \theta + K$  ×150

④⑫ TSA 445 (51.18% Cu, 4.03% Si) 爐中冷却  
 $\eta_1 + Si + \theta$  ×100

織を示したもので基地は  $\theta$  晶である。 $\eta_1$  附近に細長い  $Si$  の小結晶が存在して居るが之は 熔態 +  $\eta_1 \rightleftharpoons \theta + Si$  反応によりて生じたものである。FO<sub>4</sub>O<sub>5</sub>O<sub>6</sub>G 範囲のものは  $\epsilon_{2a}$  晶を初晶とするもので此  $\epsilon_{2a}$  晶は既述の寫眞 19 に示すが如く樹枝状を呈するが固態間に於ける複雑なる變態をなすため著しく分解した組織を示す。

**C. Al の固溶態範囲** Al に対する Cu 及び Si の溶解度範囲に就いては既に 1929 年筆者\* が發表したるを以て此處にては省略する。

\* 水曜會誌, 6 (1929)

## V. 3 元 状 態 圖

以上の研究結果を總括して Cu, Si, Al 3 元系状態圖を畫けば第 39 圖の如くなる。此状態圖は液相間の平衡關係をまとめたもので固相間に於ける平衡を記入すれば複雑となり識別し難くなるを以て省略したが第 27, 28, 29, 38 圖を参照せられたし。

## VI. 總 括

1) 筆者は Cu, Al, Si 3 元系全般に亘る平衡状態圖を熱分析、顯微鏡試験により決定した。

2) 此系には 3 元化合物が存在せず各 2 元系に於て現れる 15 箇の諸相が平衡關係を保つ事を知つた。

3) 液相面に於ける初晶は  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma_a$ ,  $\gamma_t$ ,  $\epsilon_s$ ,  $\epsilon_{1a}$ ,  $\epsilon_{2a}$ ,  $\eta_1$ ,  $\theta$ ,  $\kappa$  及び  $Si$  の 11 である。

4) 此系の液相面に  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $O_4$ ,  $O_5$ ,  $O_6$ ,  $O_7$  及び  $O_8$  なる八つの不變系反應が存在し是等の内二つは 3 元共晶反應、一のは 3 元包晶反應、五つは包共晶反應である。

(第 39 圖参照) 其等の反應は下の如きものである。

$\theta_1, 727^\circ$ , 熔態 $\Rightarrow\gamma_t + \epsilon_s + Si$ ,  $\theta_2, 980^\circ$ , 熔態 $+\gamma_a + \beta \Rightarrow \gamma_t$ ,  
 $\theta_3, 910^\circ$ , 熔態 $+\gamma_a \Rightarrow \epsilon_{1a} + \gamma_t$ ,  $\theta_4, 840^\circ$ , 熔態 $+\epsilon_{1a} \Rightarrow \gamma_t + \epsilon_{2a}$ ,  
 $\theta_5, 760^\circ$ , 熔態 $+\gamma_t \Rightarrow \epsilon_{2a} + Si$ ,  $\theta_6, 608^\circ$ , 熔態 $+\epsilon_{2a} \Rightarrow \gamma_1 + Si$ ,  
 $\theta_7, 573^\circ$ , 熔態 $+\gamma_1 \Rightarrow \theta + Si$ ,  $\theta_8, 522^\circ$ , 熔態 $\Rightarrow \theta + \kappa + Si$ .

5) 1 變系反應曲線、熔態 $\Rightarrow\gamma_t + Si$ , は約  $780^\circ\text{C}$  に極大點を有し此點より溫度が下り  $O_1$  及び  $O_5$  兩不變化點へ合致する。

6)  $Cu-Si$  及び  $Cu-Al$  兩系の  $\beta$  相は互に連續固溶態を作る。 $\beta$  相は  $\alpha + \gamma_t$  相に分解する。此の 1 變系反應は  $Cu-Si$  系より  $Cu-Al$  系に向つて溫度が次第に降下するが途中に極小點が存在する。

7)  $Cu-Si$  側近に於いて  $\gamma_t + \gamma_s \Rightarrow X + \alpha$ , 及び  $\gamma_t + X \Rightarrow \alpha + \epsilon_s''$ , なる不變系反應が存在する。是等の溫度は夫々

$675^\circ$  及び  $495^\circ\text{C}$  である。

8)  $Cu-Al$  2 元系と殆んど同溫度に於て  $\gamma_t + \epsilon_{2a} \Rightarrow \delta + Si$ ,  $\epsilon_{2a} \Rightarrow \delta + \zeta_1 + Si$ ,  $\zeta_1 \Rightarrow \delta + \zeta_2 + Si$ ,  $\epsilon_{2a} + \eta_1 \Rightarrow \zeta_1 + Si$ ,  $\zeta_1 + \eta_1 \Rightarrow \zeta_2 + Si$ , なる五つの不變反應及び  $\eta_1 \Rightarrow \eta_2$  なる同素變態による不變系反應が存在する。

9)  $C-Si$  2 元系の  $\epsilon_{s'} \Rightarrow \epsilon_s'$ ,  $\epsilon_s' \Rightarrow \epsilon_s''$  なる二つの同素變態による 3 元不變系反應が四つ存在し其溫度は  $600^\circ$ ,  $550^\circ$ ,  $585^\circ\text{C}$  及び  $525^\circ\text{C}$  である。

10)  $Cu$  に対する  $Al$  及び  $Si$  の固溶範圍を検鏡試験によつて決定した。(完)

稿を終るに臨んで筆者は恩師齋藤大吉、西村秀雄兩先生の懇篤なる御指導に對して衷心より感謝します。

## アルミニウム—亜鉛系合金の X 線的研究

(日本鐵鋼協會第 15 回講演大會講演)

大 日 方 一 司\*  
 萩 谷 正 巳\*\*  
 一 村 重 幸\*

### X-RAY STUDY OF THE ALUMINIUM-ZINC SYSTEM

*Ichiji Obinata, Masami Hagiya and Sigeyuki Itimura.*

**SYNOPSIS:**—The  $Al-Zn$  alloys covering the range of the  $\beta$  and the  $\gamma$  field have been studied roentgenographically with both ordinary and precision cameras, with which the powder photograms of the alloys have been taken not only at room-temperatures but also directly at high temperatures.

From the lattice constant-concentration curves obtained, it is confirmed that the  $\beta$  phase is merely a continuation of the  $\gamma$  phase; the solid solubility of zinc in the latter phase has been determined.

By adding a small amount of  $Mg$  in the alloy, the intermediate stages during the decomposition of quenched  $\beta$  due to aging have been studied. The results showed that the eutectoid-transformation of the  $\beta$  phase is simply a process of decomposition into  $\alpha$  and  $\gamma$ , which are in the equilibrium concentration, and that no intermediate metastable phase exists during the process. It should be noticed, however, that the lattice constant of quenched  $\beta$  decreases anomalously during aging and that the complete decomposition of the said phase is hardly attainable at ordinary temperature. The complicated changes in physical properties of the quenched alloys due to aging have been explained crystallographically.

### I. 緒 言

$Al-Zn$  系合金の状態圖に關しては古くから澤山の研究結果がある<sup>1) 2)</sup> 細部に涉つては異論も多いが、大體に於て第 1 圖に示した様に、この系には  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  の 3 固溶體が

存在する。之等のうちで、 $\alpha$  及び  $\gamma$  固溶體は夫々  $Zn$  並に  $Al$  を基準とするものであるから、その結晶構造も  $Zn$  型 (六方晶系密格子) 並に  $Al$  型 (面心立方格子) 以外のものではないが、 $\beta$  固溶體は  $270^\circ\text{C}$  以上の高溫に於てのみ安定な相で、焼入れにより之を常溫に過冷し難い事が知られてゐる<sup>3)</sup>。従つてその結晶構造も永く不明であつた。

\* 旅順工科大学冶金學教室 \*\* 滿洲化學工業株式會社

<sup>1)</sup> W. Rosenhain and S. L. Archbutt: Trans. Roy. Soc. Bd. 211, 1912, 315.

O. Bauer und O. Vogel: Intern. Metallogr. 8, 1916, 101.

<sup>2)</sup> D. Hanson and M. Gayler: J. Inst. Met. 27, 1922, 267.  
 田邊友次郎: 鐵と鋼 9, (1923), 623.  
 石原 富松; 東北理科報告 13, (1925), 4; 15, (1926), 117.