

## 銀-アルミニウム系合金の焼戻硬化に就て

(日本鐵鋼協會第 17 回講演大會 昭和 13 年 4 月)

田 尻 秀 男\*

EXPERIMENTAL RESEARCH ON TEMPER-HARDENING OF THE SILVER-RICH *Ag-Al* ALLOYS.*Hideo Taziri*

**SYNOPSIS:**—The equilibrium diagram for the silver-rich *Ag-Al* system has been studied by several persons, but little is known on its hardening characteristics. In the present paper, the temper hardening of these alloys is mainly dealt with, and some particular points as to the equilibrium diagram, which are necessary for our investigation, are examined.

From the results of the examination of the *Ag-Al* system regarding the thermal expansion, differential dilatation and microscopic structure, it is concluded that the boundary line between  $\alpha+\gamma$  and  $\gamma$  somewhat differs from that which was given in previous papers, and it lies virtually on the ordinate of about 7.7% aluminium.

Specimens quenched from the  $\alpha+\gamma$  range and etched by a solution of twenty parts of water and one part of saturated solution of chromic acid in sulphuric acid, distinctly show their eutectic structures.

The temper-hardening of these alloys occurs in a range from 5.6 to 9.5% of aluminium in silver, and if the alloys are quenched at a temperature between 450° and 720°C. and tempered at a temperature from 200°C. to 350°C., a Vickers hardness numbers from 300 to 365 is obtained.

The hardening velocity of the alloys containing aluminium of more than 7.7% which corresponds to the constituent of *Ag<sub>3</sub>Al* differs from that of the alloys containing aluminium of less than that value; the former rapidly reached the maximum hardness after tempering, whilst the latter requires at least several hours.

The alloy quenched from a temperature over 600°C., after having been reasonably tempered, has a hardness higher than that quenched from a temperature lower than 600°C., presumably, owing to refining of grains due to the eutectic reaction.

The hardening of the alloy in question is caused by the hard constituent of  $\beta'$  which is produced by the reaction between  $\alpha$  and  $\gamma$  due to tempering, whilst  $\alpha$  and  $\gamma$  are obtained by quenching. On the other hand, the increase in hardness caused by the precipitation out of supersaturated solid solution is not likely to occur, though it is the most general case.

## I. 研究の目的

銀-アルミニウム系合金の銀を主成分とする合金の平衡圖に關しては二三の研究があるが、焼戻硬化に關して從來殆んど文献がない。此の研究は主として銀-アルミニウム系合金の焼戻硬化に關するものであつて、平衡圖に就ては研究の遂行上必要な一二の部分のみを確かめる程度に留める事とした。

## II. 試料の作成及成分

**試料作成** 試料の作成には粒狀純銀を使用し、之を電氣爐を用ひ、黒鉛坩堝中で、鹽化ナトリウム、黒鉛等で被覆して熔解し、之に秤量したアルミニウムを添加して、炭素棒で充分攪拌し、鑄造後約 500°C に於て加熱して、水中

に焼入後鍛造し、更に同溫度に於て充分焼鈍均一化した後仕上げを行つたものである。

## 試料の分析結果

| 試料番號<br>No. | アルミニウム%<br>% | 試料番號<br>No. | アルミニウム%<br>% |
|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 1           | 3.98         | 9           | 7.92         |
| 2           | 5.01         | 10          | 8.53         |
| 3           | 5.48         | 11          | 8.96         |
| 4           | 5.61         | 12          | 9.51         |
| 5           | 5.97         | 13          | 10.02        |
| 6           | 6.48         | 14          | 10.48        |
| 7           | 7.04         | 15          | 11.01        |
| 8           | 7.49         |             |              |

## III. 状態圖

*Ag-Al* 系の銀側に於ける状態圖に關しては 1905 年 Petrenko<sup>1)</sup> が熱分析、顯微鏡組織に依て研究し、更に

\* 東京帝國大學航空研究所

<sup>1)</sup> Petrenko: Z. Anorg. Chem., 46 (1905), 49.

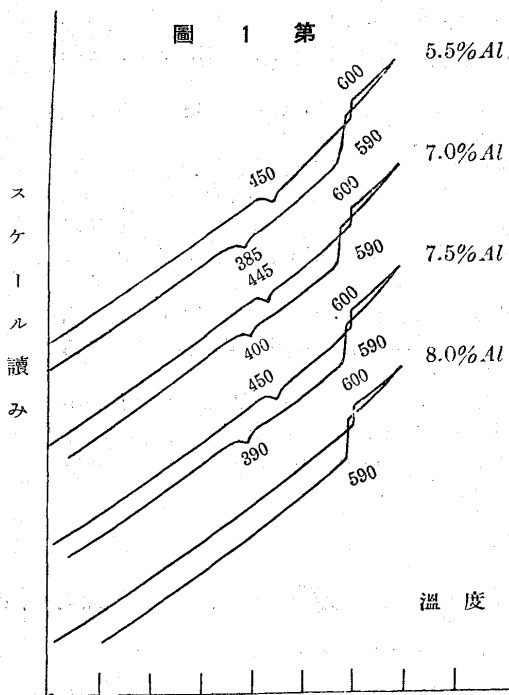
X 線的に Westgren & Bradley<sup>2)</sup> に依て其の結果が證明せられたもので、それに依ると、常溫に於ては  $\alpha$   $\beta'$   $\gamma$   $\delta$  の四相が存在し、高温即ち  $600^{\circ}\text{C}$  以上に於て  $\beta$  相が存在するが是は焼入に依て常溫に持ち來す事が出来ないものである。

尙此の中  $\alpha$  は銀のアルミニウムを含む固溶體であり、 $\beta'$  は 25 原子 % のアルミニウムを含む化合物  $\text{Ag}_3\text{Al}$  であり  $\delta$  はアルミニウム中への銀の固溶體であり  $\gamma$  は 27~40 原子 % のアルミニウムの範圍内で均一なる固溶體を作るものである。

尙此の他に最近 Ageew & Schoyket<sup>3)</sup> 我國では宇野博士<sup>4)</sup> 大日方博士<sup>5)</sup> の研究報告がある。

1. 實 驗

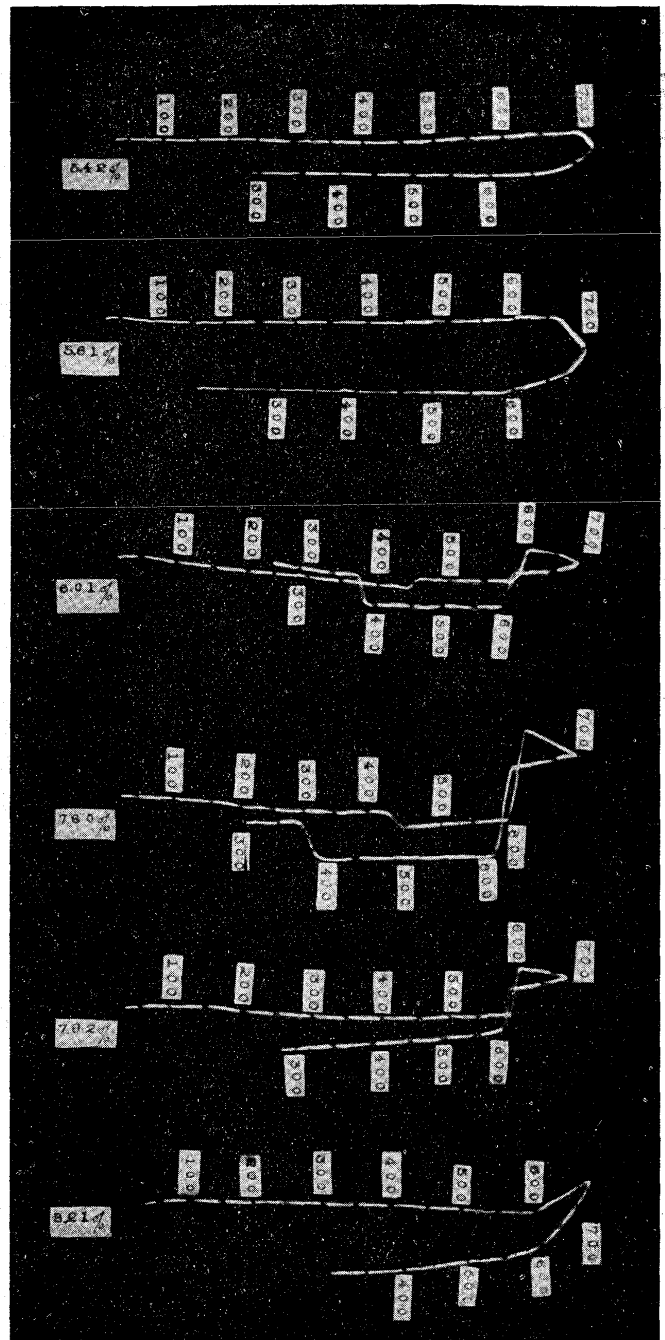
a. 熱膨脹 化合物  $\text{Ag}_3\text{Al}$  の生成及分解溫度並に共



析溫度を決定するために、燒鈍試料の熱膨脹測定の結果第 1 圖に示す如く、共析溫度は加熱、冷却何れの場合に於ても常に  $600^{\circ}\text{C}$  附近に表はれ、又化合物  $\text{Ag}_3\text{Al}$  の生成、分解溫度は加熱曲線上に於ては  $450^{\circ}\text{C}$  冷却曲線上に於ては  $390^{\circ}\text{C}$  附近に表はれるが、可逆的なるより其の中間値を取り  $420^{\circ}\text{C}$  と決定したのである。

b 示差熱膨脹 化合物  $\text{Ag}_3\text{Al}$  の生成及分解並に共析反應の存在範圍を決定するために、燒鈍試料の示差熱膨脹

第 2 圖



を測定したものである。

第 2 圖は 5.42~8.21% Al の範圍内のものに就て其の示差熱膨脹状態を畫かせたもので 左側は Al% を示し、曲線上の數字は溫度を示したものである。

今其の析點を表示すると第 1 表の様である。

| Al % | 第 1 表          |                |                |                |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|      | 析 點            |                | 點              |                |
|      | 加 熱 線 上<br>(a) | 冷 却 線 上<br>(b) | 加 熱 線 上<br>(a) | 冷 却 線 上<br>(b) |
| 5.42 |                |                |                |                |
| 5.61 | 450°C          | 600°C          | 390°C          | 600°C          |
| 6.01 | 445            | 600            | 390            | 590            |
| 7.60 | 450            | 600            | 390            | 600            |

2) Westgren and Bradley: Phil. Mag. 6 (1928), 280.  
 3) Ageew and Schoyket, Journ. Inst. Met. 52 (1933), 119.  
 4) 宇野傳三, 及, 吉田定; 工業化學雜誌, 36 (1933), 503.  
 5) 大日方一司, 萩原正己; 金屬ノ研究; 12/9 (1935).

|      |   |     |   |     |
|------|---|-----|---|-----|
| 7.92 | — | 600 | — | 600 |
| 8.21 | — | 600 | — | 600 |

第1表の結果から、共析反応の存在範囲は約5.61~8.21% Alで、化合物  $Ag_3Al$  の存在範囲は5.61~7.92% Alとなる。

**C 顕微鏡組織** 顕微鏡組織に就ては適当な腐蝕液を見出すに非常に困難であったが、クロム酸の濃硫酸の飽和溶液を20倍の水に薄めた溶液に依て漸く完全に、共析組織を見出す事が出来た。

写真(1)は300°Cに於ける組織を示す。

写真(2)は500°Cから焼入れした組織を示す。

600°C以上即  $\alpha+\beta$ ,  $\beta$  範囲内から焼入れしたものは其の組織を之を常温に持ち来す事が困難で  $\alpha+\beta$  から焼入れしたものは、常に  $\alpha+\gamma$  の組織を示し  $\beta$  から焼入れしたものは處々に針状結晶を表はすが判然と  $\beta$  の組織を常温で握むことが出来なかつた。

写真1は何れも500°Cに於て加熱充分に均一化したものを300°Cで50時間焼戻したものである。写真1の(a) (Al 5.0%) は  $\alpha$  の単一相を示し (b) に於ては結晶粒の境界に白色の  $\beta'$  の析出を見、更に (c), (d), (e) と Al% の増加と共に  $\beta'$  は増加し Al 7.7% 即ち (f) に至て完全に  $\beta'$  の単一相となる。

更に Al% が増加するにつれ即ち (g) に於て  $\beta$  が  $\gamma$  中に析出するのが分る。(h)→(i)→(j)→(k) と Al% が増加するに従て、白色の針状結晶即ち  $\beta'$  の析出量が減少するのが分る。而して、(1) に至り完全に  $\gamma$  の単一相となる。

写真1から300°Cに於ける  $\alpha+\beta'$ ,  $\beta'+\gamma$  及  $\gamma$  の範囲は第2表の様になる。

写真2は何れも500°Cに於て充分均一化する迄加熱後水中に焼入れしたものの組織を示したもので写真2の(a) (Al=5.5%) は完全に単一相  $\alpha$  に屬し (b) (Al=5.6%) に於ては僅か乍らも第二相の存在を認める事が出来る、更に (c)→(d)→(e) と即 Al% の増加につれて、第二相  $\gamma$  の量の増加するのを認むる事が出来る。(f) (Al=7.4%) に到ては大部分  $\gamma$  相となり僅かに  $\alpha$  を残すのみで、更に (g) (Al=8%) に到ては完全に  $\gamma$  単一相となる。

| 相               | Al%       |
|-----------------|-----------|
| $\alpha$        | 5.3% 以下   |
| $\alpha+\beta'$ | 5.3~7.7%  |
| $\beta'+\gamma$ | 7.7~10.2% |
| $\gamma$        | 10.2% 以上  |

| 相               | Al%     |
|-----------------|---------|
| $\alpha$        | 5.6以下   |
| $\alpha+\gamma$ | 5.6~7.5 |
| $\gamma$        | 7.6以上   |

550°Cから焼入れした組織も殆ど500°Cの場合と同様で

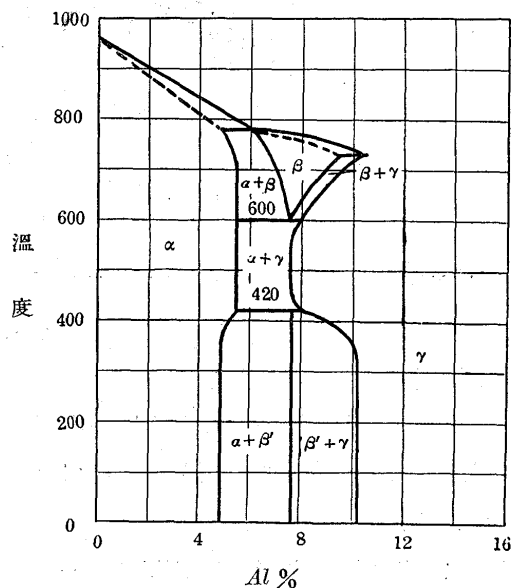
あつた、是等の組織から500~550°Cに於ける状態は第3表の様考へる事が出来る。

又後述の焼戻硬化に伴ふ物理的、機械的諸性質の變化状態よりも容易に之を推測する事が出来る。即 Al=5.6~7.7% のものの500°Cから焼入れしたものは  $\alpha+\gamma$  二相に屬し Al=7.7~9.5% のものは同温度より焼入れすると  $\gamma$  相のみになる。之等のものを焼戻す際、前者は何れも極めて短時間に急激な硬度の上昇を示し、比重、比抵抗に於ても第6~9圖に示す様に何れも一様な傾向を取る。之に反し後者に屬するものは異な傾向を取ることが分る。

尚焼戻に伴ふ組織の變化を見るに写真5に示す様に前者に於ては  $\alpha+\gamma$  中の  $\gamma$  の大部分が  $\beta'$  に變化し、後者の場合には  $\gamma$  から  $\beta'$  が析出するには可成り時間を要する事から  $\alpha+\gamma$  と  $\gamma$  との境は Al=7.7% 線上附近に位するものと考へられる。

2. 状態圖 以上の諸實驗の結果を綜合すれば Ag-Al

第 3 圖



系の銀側の状態圖は第3圖の様になる。

第3圖中、共析反應は加熱冷却曲線上何れも常に600°C附近に表はれ、又化合物  $Ag_3Al$  の生成、分解温度は加熱線上に於ては450°C、冷却線上に於ては390°C附近に表はれ、加熱冷却の際多少の開きがあるが、可逆的な事から其の中間値を取り420°Cと決定したものである。

又共析點の位置は本實驗では之を決定する事は出来なかつたが、從來の文獻の値を取つて Al=7.7% とした。共析反應の存在範囲は Al=5.6~8.2% 又化合物の生成、分解の範囲は Al=5.6~7.9% に互るものである。而して  $\alpha+\gamma$  と  $\gamma$  との境は前表に示す様に可成 Al の少い方に寄

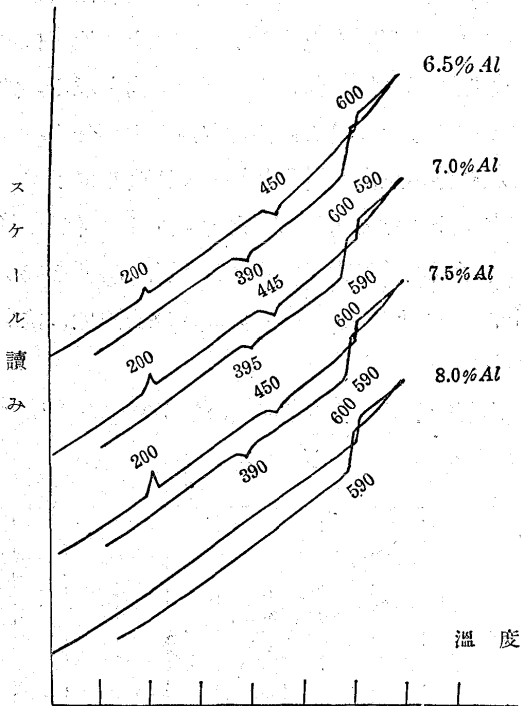
り、大體  $Al=7.7\%$  線上附近に位するものと考へられる。

### IV. 焼戻硬化

#### 1. 焼戻に伴ふ物理的性質の變化

a. 熱膨脹 第4圖の様である。

第 4 圖



b. 示差熱膨脹 第 1, 2 圖に示す様に焼鈍状態のものを加熱する際 200°C 附近に何等の變化を認めないのに反し、第 4, 5 圖の如く、焼入状態のものは焼戻する際 5.6 ~ 7.7% Al の範囲内に於て 200°C 附近に異常膨脹が表はれる。之は主として焼入に依り得られる  $\alpha+\gamma$  が  $\alpha+\beta'$  に變化するためである。

c. 焼戻に依る電気抵抗の變化 測定器……シーメンス製ダブルスイッチブリッジ

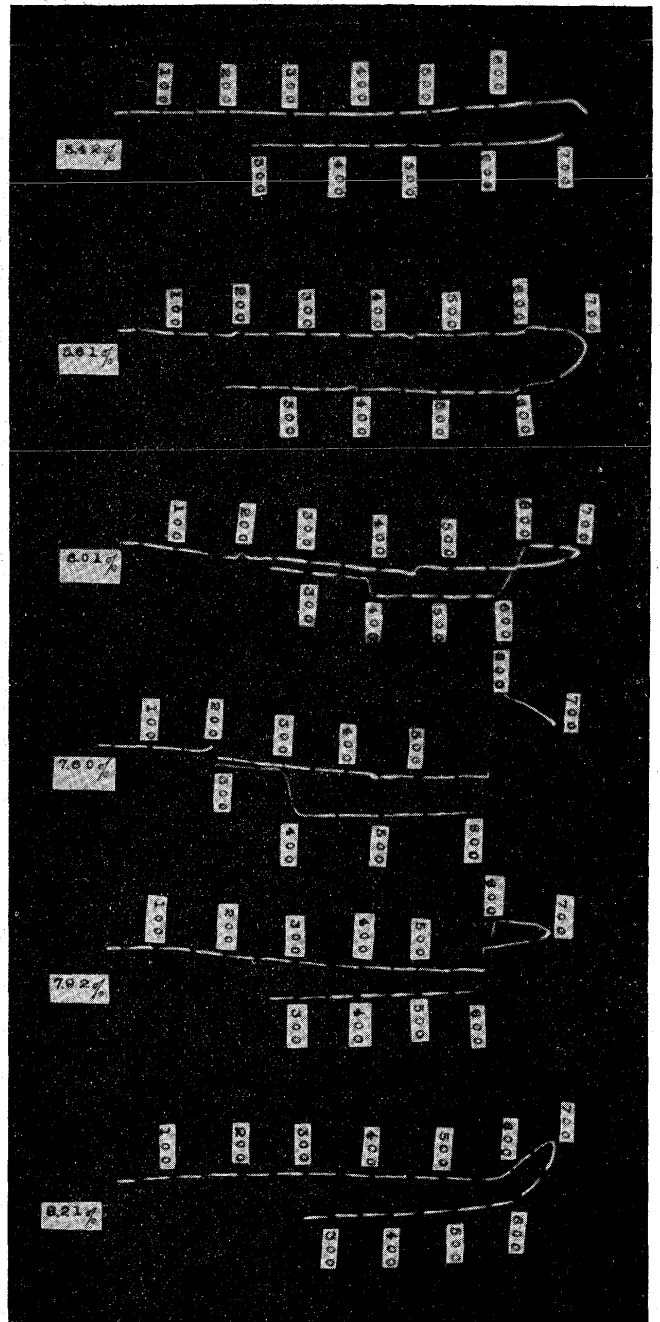
試料は  $Al=5.6\%$  及び  $7.5\%$  のものを 550°C で熱間壓延して、厚さ 1mm となし、長さ 200mm 幅 10mm のものを作り(但し測定個所は、中央 100mm の所) 500°C に加熱後焼戻し所定温度で焼戻しを行ひ 2.5°C で測定したものでその結果は第 4, 5 表、第 6, 7 圖の様である。

(5.01% Al)

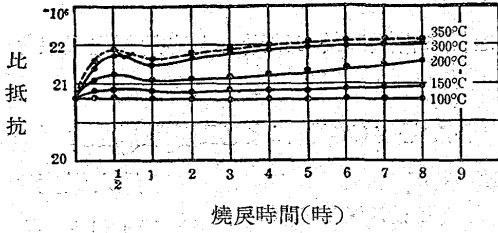
第 4 表

| 焼戻<br>°C | hr | 比抵抗 ( $10^{-6} \text{ohm/cm}^3$ ) |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------|----|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|          |    | 500°C から焼<br>入したもの                | 1/2     | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       |
| 100      |    | 20.7816                           | 20.7874 | 20.7812 | 20.7836 | 20.7861 | 20.7855 | 20.7846 | 20.7841 | 20.7859 |
| 150      |    | "                                 | 20.8104 | 20.8255 | 20.8163 | 20.8144 | 20.8206 | 20.8195 | 20.8115 | 20.8169 |
| 200      |    | "                                 | 21.1962 | 21.0845 | 21.0992 | 21.1864 | 21.2605 | 21.2688 | 21.2904 | 21.3001 |
| 300      |    | "                                 | 21.4605 | 21.3051 | 21.3226 | 21.4992 | 21.5001 | 21.5062 | 21.5448 | 21.5906 |
| 350      |    | "                                 | 21.4902 | 21.3116 | 21.3354 | 21.4998 | 21.5068 | 21.5368 | 21.5596 | 21.6302 |

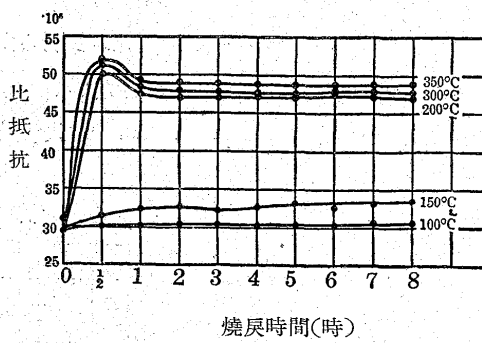
第 5 圖



第 6 圖 焼戻温度に依る (5.6% Al 電氣抵抗の變化 (焼戻温度 500°C)



第 7 圖 焼戻温度に依る (7.5% Al 電氣抵抗の變化 (焼戻温度 500°C)



d 焼戻に依る比重の變化  
試料は Al=5.6% 及び 7.5% のものを 550°C で熱間鍛錬をし約 30gr のものとして水浸法により測定, 測定水温は 21°C としたものでその結果は第 6~7 表第 8~9 圖の様である。

次に 8% Al のものに就

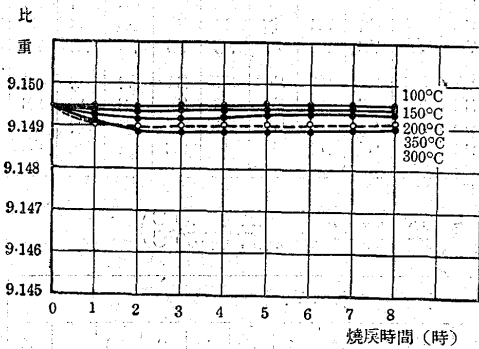
(7.5% Al) 第 5 表

| 焼戻温度 C | 時間 (時) | 比抵抗 (10 <sup>-6</sup> ohm/cm <sup>3</sup> ) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|--------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |        | 500°C から焼入したもの                              | 1/2   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| 100    |        | 29.28                                       | 29.93 | 30.26 | 30.32 | 30.48 | 30.25 | 30.25 | 30.23 | 30.51 | 30.54 |
| 150    | "      | 31.48                                       | 32.35 | 32.50 | 32.25 | 32.62 | 33.01 | 32.51 | 33.03 | 33.32 |       |
| 200    | "      | 50.19                                       | 47.48 | 47.12 | 47.20 | 47.24 | 47.10 | 47.34 | 47.25 | 47.15 |       |
| 300    | "      | 51.31                                       | 48.25 | 47.92 | 47.85 | 47.74 | 47.52 | 47.91 | 47.72 | 47.71 |       |
| 350    | "      | 52.04                                       | 49.25 | 49.03 | 48.96 | 48.82 | 48.75 | 48.82 | 48.80 | 48.80 |       |

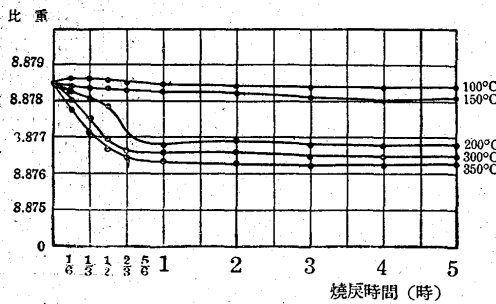
(5.6% Al) 第 6 表

| 焼戻温度 C | 時間 (時) | 比重             |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        |        | 500°C から焼入したもの | 1/2    | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 7      |
| 100    |        | 9.1495         | 9.1494 | 9.1496 | 9.1494 | 9.1495 | 9.1496 | 9.1495 | 9.1494 |
| 150    | "      | 9.1495         | 9.1495 | 9.1494 | 9.1495 | 9.1496 | 9.1496 | 9.1495 | 9.1495 |
| 200    | "      | 9.1492         | 9.1491 | 9.1491 | 9.1492 | 9.1492 | 9.1491 | 9.1491 | 9.1492 |
| 300    | "      | 9.1490         | 9.1489 | 9.1489 | 9.1490 | 9.1491 | 9.1490 | 9.1490 | 9.1489 |
| 350    | "      | 9.1491         | 9.1488 | 9.1486 | 9.1487 | 9.1486 | 9.1487 | 9.1488 | 9.1487 |

第 8 圖 焼戻温度に依る (5.6% Al 比重の變化 (焼戻温度 500°C)



第 9 圖 焼戻温度に依る (7.5% Al 比重の變化



て, 前と同様な方法で比重, 比抵抗, 硬度を測定した結果は第 8 表, 第 10 圖の様である。

(e) 焼戻に伴ふ顕微鏡組織の變化 寫眞 3 は Al=6% 殘部 Ag より成る合金を 500°C から焼入した後 300°C で焼戻を行ひ, 焼戻時間を變化して, 試料の同一個所を撮

(7.5% Al)

第 7 表

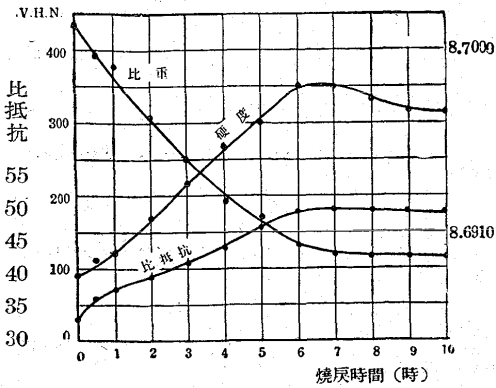
| 焼戻温度 C | 時間 (時) | 比重             |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        |        | 500°C から焼入したもの | 1/6    | 1/3    | 1/2    | 2/3    | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
| 100    |        | 8.8785         | 8.8786 | 8.8786 | 8.8786 | 8.8785 | 8.8784 | 8.8784 | 8.8784 | 8.8784 | 8.8784 |
| 150    | "      | 8.8785         | 8.8784 | 8.8784 | 8.8784 | 8.8783 | 8.8783 | 8.8782 | 8.8781 | 8.8780 | 8.8781 |
| 200    | "      | 8.8783         | 8.8783 | 8.8781 | 8.8778 | 8.8769 | 8.8768 | 8.8769 | 8.8768 | 8.8768 | 8.8768 |
| 300    | "      | 8.8780         | 8.8780 | 8.8775 | 8.8769 | 8.8766 | 8.8766 | 8.8766 | 8.8765 | 8.8765 | 8.8765 |
| 350    | "      | 8.8777         | 8.8777 | 8.8772 | 8.8767 | 8.8764 | 8.8764 | 8.8763 | 8.8762 | 8.8763 | 8.8763 |

8% Al

第 8 表 8% Al (焼戻温度 500°C 焼戻温度 300°C)

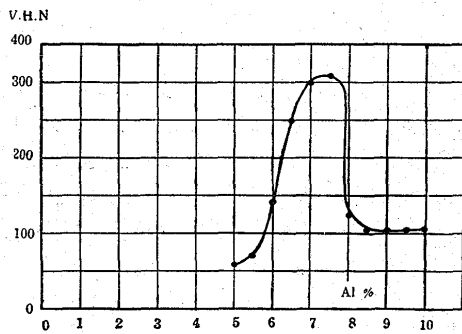
| 焼戻時間 (時)             | 500°C から焼入した者 | 1/2     | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
|----------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 硬度 (V.H.N)           | 92            | 115     | 122     | 173     | 224     | 268     | 318     | 344     | 349     | 349     | 342     | 336     |
| 比抵抗 10 <sup>-6</sup> | 33.3199       | 36.2311 | 37.2849 | 38.7625 | 41.0139 | 42.8926 | 45.8736 | 46.1718 | 48.0122 | 47.9710 | 47.3816 | 46.9813 |
| 比重                   | 8.7016        | 8.6998  | 8.6922  | 8.6963  | 8.6939  | 8.6918  | 8.6908  | 8.6892  | 8.6887  | 8.6883  | 8.6876  | 8.6862  |

第 10 圖



影したものである、之から 30 分の焼戻で不連続的に組織の變化するの判るその後の焼戻に依ては 10 時間位迄は殆ど顯著な變化は認められず 20 時間以上になると、徐々に變化して行く事が判る

第 11 圖



寫眞 4 は Al=8% 残り Ag の合金を 500°C から焼入した後 300°C で焼戻を行ひ、前同様焼戻時間を変化して試料の同一個所を撮影したものである。此のものは前と多少趣を異にして焼戻時間と共に徐々に組織が變化する事が判る。

以上の焼戻に伴ふ組織の變化は他の機械的及物理的諸性質の焼戻に伴ふ變化と時間的に一致してゐる事が判る。

2. 焼戻に伴ふ機械的性質の變化

a. 焼鈍状態に於ける硬度 5~10% Al を含む合金を電氣爐中で 500°C に加熱均一化後爐中冷却したものの成分及硬度の關係を示すと第 9 表第 11 圖の様である。

第 9 表

| Al%        | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 | 8.5 | 9.0 | 9.5 | 10.0 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 硬度 (V.H.N) | 61  | 64  | 142 | 251 | 300 | 310 | 125 | 106 | 106 | 105 | 105  |

b. 常溫時効硬化 各種のものに就て 500°C から焼入

第 10 表

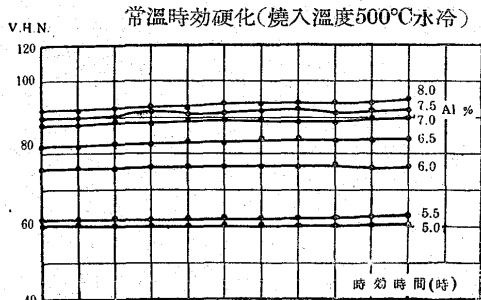
| 硬 度 (V.H.N) |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 常溫時効 (時)    | 500°C から焼入したものの | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| 4%          |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 5.0         | 60              | 61 | 60 | 60 | 61 | 61 | 61 | 60 | 60 | 60 | 61 |
| 5.5         | 62              | 62 | 62 | 62 | 62 | 63 | 62 | 62 | 62 | 63 | 62 |
| 5.7         | 62              | 62 | 63 | 63 | 62 | 62 | 63 | 62 | 61 | 62 | 63 |
| 6.0         | 76              | 76 | 77 | 77 | 78 | 78 | 76 | 77 | 76 | 77 | 77 |
| 6.5         | 82              | 82 | 83 | 83 | 84 | 83 | 84 | 84 | 83 | 84 | 84 |
| 7.0         | 88              | 88 | 89 | 88 | 89 | 89 | 89 | 89 | 89 | 90 | 90 |
| 7.5         | 90              | 90 | 90 | 92 | 91 | 91 | 92 | 93 | 92 | 92 | 92 |
| 8.0         | 92              | 92 | 92 | 93 | 93 | 62 | 93 | 94 | 94 | 94 | 95 |

したものの常溫に於ける硬化状態を示すと第 10 表第 12 圖の様になる。

圖から明らかな様に常溫に於ては殆ど時効硬化現象を示さない。

c. 焼入温度一定なる時の焼戻による硬度及成分の關係

第 12 圖



焼入温度を 500°C としたものに就て 100~350°C の各種の溫度に於て焼戻した際の硬化状態を示すと第

11~19 表、第 13~23 圖の様になる。

第 11 表 焼戻硬化 (焼入温度 500°C, 焼戻温度 100°C)

| 硬 度 (V.H.N) |                 |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------|-----------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 焼戻時間 (時)    | 500°C から焼入したものの | 1/2 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| 4%          |                 |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 5.0         | 60              | 60  | 60 | 61 | 60 | 61 | 60 | 60 | 60 | 61 | 60 | 60 |
| 5.5         | 62              | 62  | 62 | 62 | 61 | 61 | 63 | 62 | 62 | 63 | 62 | 62 |
| 5.7         | 62              | 62  | 63 | 62 | 62 | 63 | 62 | 62 | 63 | 63 | 63 | 63 |
| 6.0         | 76              | 76  | 75 | 76 | 76 | 74 | 76 | 76 | 76 | 75 | 76 | 76 |
| 6.5         | 82              | 81  | 83 | 83 | 82 | 81 | 81 | 81 | 81 | 82 | 82 | 83 |
| 7.0         | 88              | 88  | 88 | 88 | 86 | 88 | 87 | 88 | 89 | 88 | 90 | 88 |
| 7.5         | 90              | 91  | 90 | 92 | 91 | 91 | 90 | 91 | 91 | 90 | 92 | 91 |
| 8.0         | 92              | 92  | 92 | 92 | 91 | 92 | 92 | 91 | 93 | 93 | 93 | 94 |

第 12 表 焼戻硬化 (焼入温度 500°C, 焼戻温度 150°C)

| 硬 度 (V.H.N) |                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 焼戻時間 (時)    | 500°C から焼入したものの | 1/2 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 10  | 12  | 14  |
| 4%          |                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 5.0         | 60              | 60  | 60  | 60  | 61  | 62  | 61  | 60  | 62  | 61  | 60  | 60  | —   |
| 5.5         | 62              | 62  | 62  | 63  | 63  | 63  | 63  | 64  | 62  | 62  | 62  | 63  | —   |
| 5.7         | 62              | 63  | 63  | 64  | 63  | 63  | 63  | 63  | 64  | 64  | —   | —   | —   |
| 6.0         | 76              | 82  | 82  | 81  | 82  | 83  | 82  | 83  | 82  | 81  | 82  | —   | —   |
| 6.5         | 82              | 88  | 97  | 100 | 100 | 104 | 106 | 109 | 110 | 108 | 106 | —   | —   |
| 7.0         | 88              | 99  | 106 | 112 | 111 | 114 | 121 | 122 | 125 | 130 | 128 | 126 | —   |
| 7.5         | 90              | 101 | 103 | 111 | 110 | 115 | 110 | 112 | 121 | 124 | 122 | 124 | —   |
| 8.0         | 92              | 99  | 101 | 103 | 101 | 103 | 102 | 106 | 105 | 99  | 100 | 100 | 103 |

第 13 表 焼戻硬化 (焼入温度 500°C, 焼戻温度 200°C)

| 硬 度 (V.H.N) |                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 焼戻時間 (時)    | 500°C から焼入したものの | 1/2 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| 4%          |                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 5.0         | 60              | 60  | 61  | 61  | 62  | 62  | 62  | 63  | 62  | 62  | —   | —   |
| 5.5         | 62              | 62  | 62  | 63  | 62  | 61  | 62  | 64  | 63  | 64  | —   | —   |
| 5.7         | 62              | 71  | 69  | 68  | 68  | 69  | 69  | 69  | 69  | 70  | —   | —   |
| 6.0         | 76              | 218 | 209 | 210 | 210 | 211 | 209 | 212 | 215 | 216 | —   | —   |
| 6.5         | 82              | 261 | 245 | 242 | 240 | 246 | 246 | 248 | 252 | 250 | —   | —   |
| 7.0         | 88              | 331 | 322 | 318 | 319 | 316 | 317 | 317 | 319 | 319 | —   | —   |
| 7.5         | 90              | 334 | 318 | 317 | 320 | 318 | 320 | 319 | 319 | 320 | —   | —   |
| 8.0         | 92              | 102 | 102 | 103 | 105 | 103 | 105 | 105 | 106 | 104 | 107 | 110 |

第 14 表 焼戻硬化 (焼入温度 500°C / 焼戻温度 300°C)

|          |                 | 硬 度 (V.H.N) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|-----------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 焼戻時間 (時) | 500°C から焼入したものの | 1/2         | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| 41%      |                 |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 5'0      | 60              | 60          | 61  | 61  | 62  | 62  | 62  | 63  | 62  | 62  | 63  | 63  |
| 5'5      | 62              | 63          | 62  | 62  | 63  | 63  | 64  | 64  | 63  | 63  | 65  | 65  |
| 5'7      | 62              | 74          | 71  | 70  | 70  | 71  | 71  | 72  | 71  | 72  | 71  | 72  |
| 6'0      | 76              | 243         | 228 | 224 | 225 | 226 | 227 | 228 | 228 | 226 | 227 | 227 |
| 6'5      | 82              | 285         | 275 | 276 | 274 | 276 | 274 | 272 | 274 | 276 | 274 | 275 |
| 7'0      | 88              | 342         | 328 | 325 | 328 | 327 | 331 | 325 | 330 | 329 | 331 | 334 |
| 7'5      | 90              | 351         | 336 | 331 | 328 | 331 | 338 | 330 | 329 | 334 | 333 | 337 |

第 17 表 焼戻硬化 (焼入温度 500°C / 焼戻温度 350°C)

|          |                 | 硬 度 (V.H.N) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|-----------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 焼戻時間 (時) | 500°C から焼入したものの | 1/2         | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| 41%      |                 |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 5'0      | 60              | 60          | 61  | 62  | 62  | 62  | 63  | 62  | 62  | 62  | 63  | 63  |
| 5'5      | 62              | 64          | 64  | 64  | 64  | 65  | 65  | 66  | 67  | 67  | 66  | 66  |
| 5'7      | 62              | 74          | 72  | 72  | 72  | 71  | 72  | 72  | 73  | 73  | 73  | 73  |
| 6'0      | 76              | 241         | 230 | 226 | 225 | 226 | 228 | 230 | 232 | 232 | 235 | 235 |
| 6'5      | 82              | 287         | 287 | 272 | 271 | 274 | 272 | 276 | 278 | 276 | 277 | 277 |
| 7'0      | 88              | 351         | 351 | 338 | 336 | 337 | 338 | 335 | 338 | 340 | 330 | 330 |
| 7'5      | 90              | 353         | 353 | 329 | 329 | 328 | 330 | 331 | 332 | 336 | 334 | 334 |

第 15 表 焼戻硬化 (焼入温度 500°C / 焼戻温度 300°C)

|          |                 | 硬 度 (V.H.N) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|----------|-----------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 焼戻時間 (時) | 500°C から焼入したものの | 1/2         | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  |  |
| 41%      |                 |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 8'0      | 92              | 115         | 122 | 173 | 224 | 268 | 318 | 344 | 349 | 336 | 325 | 325 |  |
| 8'5      | 96              | 107         | 122 | 138 | 158 | 196 | 219 | 242 | 281 | 319 | 324 | 316 |  |
| 9'0      | 98              | —           | 98  | 100 | 100 | 102 | 103 | 109 | 118 | 122 | 166 | 208 |  |
| 9'5      | 99              | —           | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |
| 10'0     | 99              | —           | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |  |

第 18 表 焼戻硬化 (焼入温度 500°C / 焼戻温度 350°C)

|          |                 | 硬 度 (V.H.N) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|----------|-----------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| 焼戻時間 (時) | 500°C から焼入したものの | 1/2         | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 8   | 10  | 12  |  |  |
| 41%      |                 |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| 8'0      | 92              | 118         | 155 | 258 | 294 | 345 | 352 | 351 | 338 | 323 | 321 |  |  |
| 8'5      | 96              | 108         | 122 | 138 | 109 | 199 | 218 | 242 | 281 | 323 | 324 |  |  |
| 9'0      | 98              | 100         | 101 | 103 | 102 | 104 | 108 | —   | —   | 122 | —   |  |  |
| 9'5      | 99              | —           | 101 | 100 | —   | —   | 103 | —   | —   | 103 | —   |  |  |
| 10'0     | 99              | —           | 100 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 101 | —   |  |  |

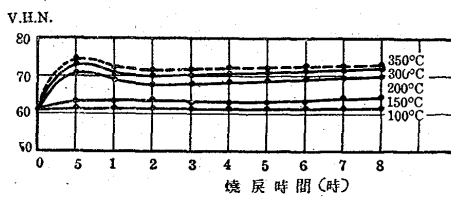
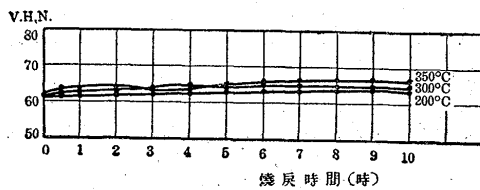
第 16 表 焼戻硬化 (焼入温度 500°C / 焼戻温度 300°C)

|          |                 | 硬 度 (V.H.N) |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |
|----------|-----------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|
| 焼戻時間 (時) | 500°C から焼入したものの | 16          | 18  | 20  | 25  | 30  | 35  | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 41%      |                 |             |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |
| 8'0      | 92              | 325         | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —  | —  | —  | —  |
| 8'5      | 96              | 315         | 302 | 299 | —   | —   | —   | —  | —  | —  | —  | —  |
| 9'0      | 98              | 212         | 238 | 241 | 240 | 239 | 236 | —  | —  | —  | —  | —  |
| 9'5      | 99              | —           | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —  | —  | —  | —  |
| 10'0     | 99              | —           | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —  | —  | —  | —  |

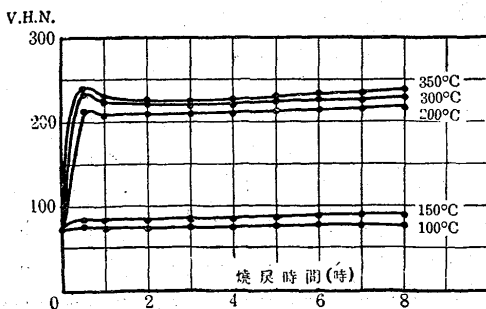
第 19 表 焼戻硬化 (焼入温度 500°C / 焼戻温度 350°C)

|          |                 | 硬 度 (V.H.N) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|-----------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 焼戻時間 (時) | 500°C から焼入したものの | 14          | 16  | 18  | 20  | 25  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  |
| 41%      |                 |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 8'0      | 92              | 320         | 319 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| 8'5      | 96              | 318         | 321 | 309 | 303 | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| 9'0      | 98              | 208         | 272 | —   | 245 | 241 | 240 | 238 | —   | —   | —   |
| 9'5      | 99              | 108         | —   | —   | 125 | 155 | 162 | 151 | —   | —   | —   |
| 10'0     | 99              | —           | —   | —   | 102 | —   | 105 | 115 | 122 | 126 | 124 |

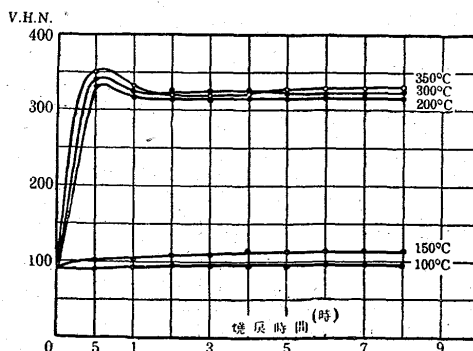
第 13 圖 焼戻硬化 5.5% Al (焼入温度 500°C) 第 14 圖 焼戻硬化 5.7% Al (焼入温度 500°C)



第 15 圖 焼戻硬化 6% Al (焼入温度 500°C)



第 18 圖 焼戻硬化 7.5% Al (焼入温度 500°C)



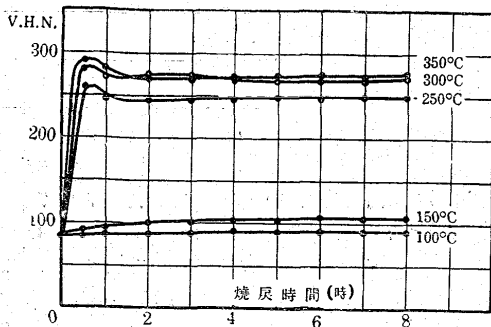
以上の各曲線 (第13~23 圖) に於て各成分合金を 500°C から焼入して各温度で焼戻す時達し得る最高硬度和焼戻温度との関係を示すと第 20 表第 24 圖の様になる。

以上各種の實驗結果を綜合すると Al=5~10% 殘部 Ag から成る合金を 500°C から焼入した後各種の温度で各時間焼戻した際の硬度的變化から次の諸事實を知ることが出来る。

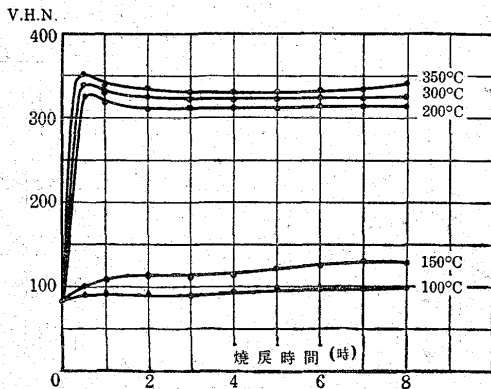
1. 平衡圖 (第 3 圖) に於



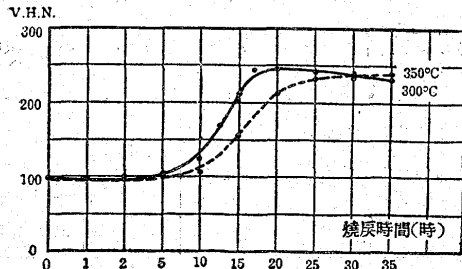
第 16 圖 焼戻硬化 6.5% Al (焼入温度 500°C)



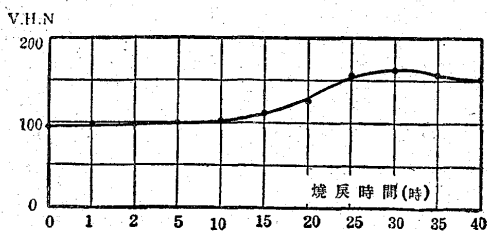
第 17 圖 焼戻硬化 7% Al (焼入温度 500°C)



第 21 圖 焼戻硬化 9% Al (焼入温度 500°C)



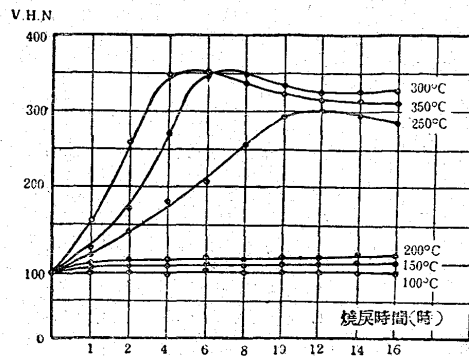
第 22 圖 焼戻硬化 10% Al (焼入温度 500°C, 焼戻温度 350°C)



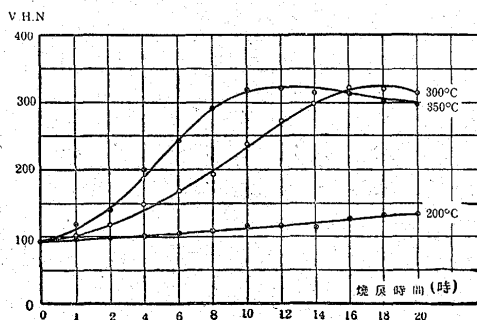
第 20 表 焼戻に依り到達し得る最高硬度 (焼入温度 500°C)

| 焼戻温度 (°C) | 500°C から焼入したものの | 硬 度 (V.H.N) |     |     |     |     |     |
|-----------|-----------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|           |                 | 100         | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| 4% Al     | 60              | 60          | 61  | 61  | 61  | 61  | 60  |
| 5.0       | 62              | 62          | 63  | 63  | 62  | 62  | 62  |
| 5.5       | 62              | 63          | 63  | 71  | 72  | 73  | 74  |
| 5.7       | 76              | 77          | 83  | 218 | 231 | 243 | 241 |
| 6.5       | 82              | 82          | 88  | 261 | 271 | 285 | 261 |
| 7.0       | 88              | 89          | 99  | 337 | 340 | 342 | 351 |
| 7.5       | 90              | 92          | 101 | 344 | 347 | 351 | 353 |
| 8.0       | 92              | 94          | 100 | 102 | 325 | 349 | 352 |

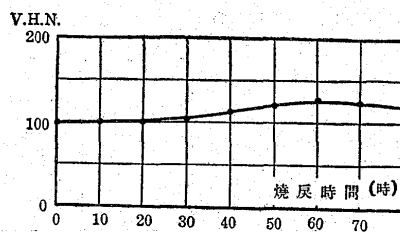
第 19 圖 焼戻硬化 7.92% Al (焼入温度 500°C)



第 20 圖 焼戻硬化 8.5% Al (焼入温度 500°C)



第 23 圖 焼戻硬化 9.5% Al (焼入温度 500°C, 焼戻温度 350°C)



焼戻す際約 30 分の焼戻に依て  $\alpha + \gamma$  中の  $\gamma$  が殆ど  $\beta'$  に變化する結果急激に硬度が上昇するが、更に焼戻時間の経過と共に第 25 圖に示す様に約 20 時間後  $\alpha$  中にも  $\beta'$  の析出を見る結果 (e. 顯微鏡組織の項第 38 頁参照) 稍々硬度の上昇を示すものと考へられる。

第 21 表 長時間焼戻に依る硬化 (焼入温度 500°C, 焼戻温度 300°C)

| 焼戻時間 (時) | 500°C から焼入したものの | 硬 度 (V.H.N) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|----------|-----------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|          |                 | 1/2         | 1   | 5   | 10  | 15  | 20  | 25  | 30  | 35  | 40  |  |
| Al% 5.5  | 62              | 63          | 62  | 64  | 65  | 64  | 64  | 63  | 65  | 62  | 64  |  |
| 5.7      | 62              | 74          | 71  | 71  | 72  | 73  | 75  | 74  | 73  | 74  | 73  |  |
| 6.0      | 76              | 243         | 228 | 227 | 229 | 230 | 235 | 241 | 248 | 248 | 246 |  |
| 6.5      | 82              | 285         | 275 | 274 | 275 | 281 | 284 | 291 | 298 | 296 | 291 |  |
| 7.0      | 88              | 342         | 328 | 331 | 334 | 338 | 341 | 340 | 340 | 341 | 338 |  |
| 7.5      | 90              | 351         | 336 | 338 | 337 | 341 | 344 | 348 | 348 | 351 | 350 |  |

て單一固溶體  $\alpha$  の範圍即  $Al = 0 \sim 5.6\%$  のものを各種の温度で如何に長時間焼戻を行つても、焼戻硬化現象を起さない。

2.  $\alpha + \beta'$  の範圍の合金中  $Al = 5.6 \sim 7.7\%$  ( $\beta$  點) のものは 200°C 以上の焼戻に依り極めて短時間に硬化現象を示す。

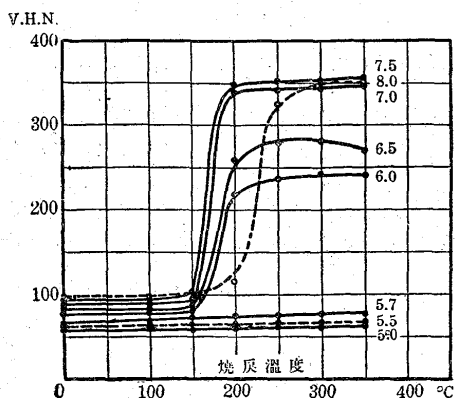
3.  $Al = 7.7 \sim 9.5\%$  のものは 200°C 以上の焼戻に依り硬化現象を示すが、硬化を始める迄には可成時間を要する。

d. 長時間焼戻に依る成分と硬度との關係 5.5~7.5% Al を含むものを 500°C から焼戻し之を 300°C で 40 時間焼戻した際硬度の變化を示すと第 21 表第 25 圖の様になる。即ち 20 時間以上焼戻す際、多少硬度の上昇が見える。その原因は之等のものは焼戻状態では  $\alpha + \gamma$  の二相であるが

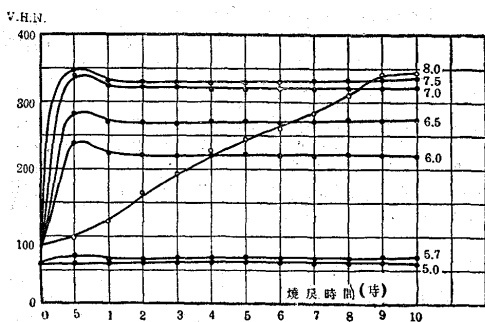


第 24 圖

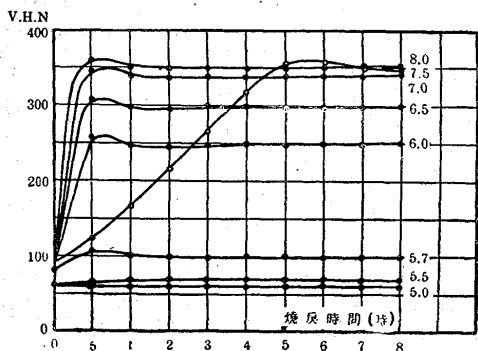
焼戻に依り到達し得る最高硬度 (焼戻温度 500°C)



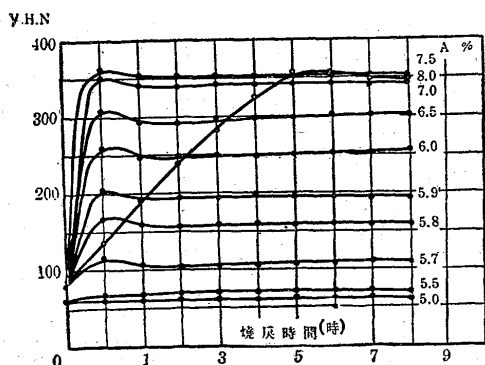
第 26 圖 焼戻硬化 (焼戻温度 560°C, 焼戻温度 300°C)



第 28 圖 焼戻硬化 (焼戻温度 650°C, 焼戻温度 300°C)

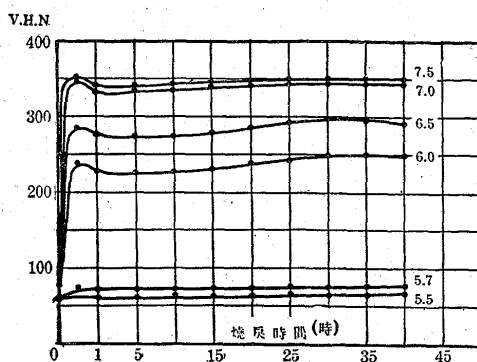


第 30 圖 焼戻硬化 (焼戻温度 720°C, 焼戻温度 300°C)

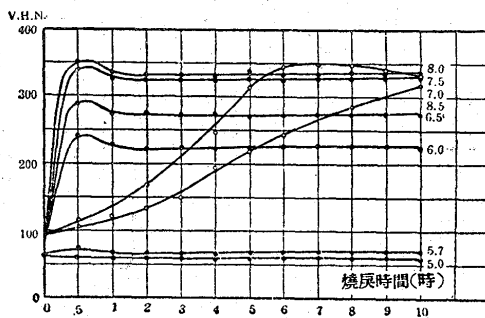


第 25 圖

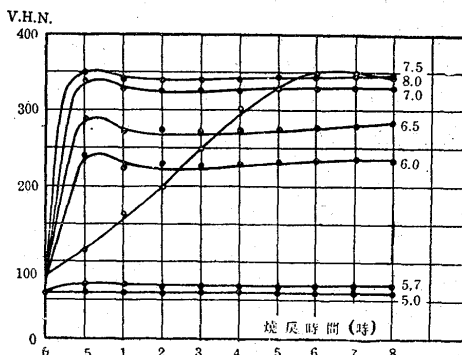
長時間焼戻に依る硬化 (焼戻温度 500°C, 焼戻温度 300°C)



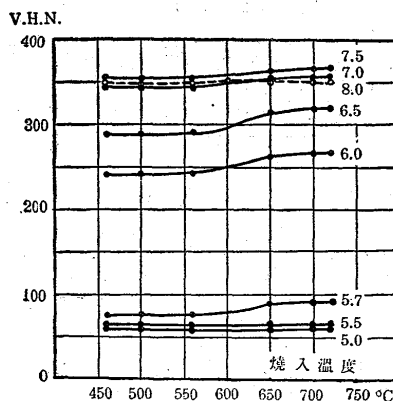
第 27 圖 焼戻硬化 (焼戻温度 500°C, 焼戻温度 300°C)



第 29 圖 焼戻硬化 (焼戻温度 560°C, 焼戻温度 300°C)



第 31 圖 焼戻温度に依る最高硬度の變化 (焼戻温度 300°C)



e. 焼戻温度を異にするもの

の 300°C の焼戻に依る成分と硬度との関係 c 項の研究に依て本合金の焼戻温度一定 (500°C) の場合、焼戻温度として約 300°C で充分である事が判たので、次に焼戻温度を一定 (300°C) にして焼戻温度の硬度に及ぼす影響を研究した。その結果は第 22~26 表、第 26~30 圖の様である。

即ち 460~720°C 間の各種の温度から焼戻したものを 300°C で焼戻した際次の事実が分る。

1 単一固溶體及び二固溶體範圍の各種成分の合金は何れも 300°C の焼戻に依て焼戻温度の高低に關らず 500°C から焼戻したものと全く同じ傾向を示す。

2 焼戻に依る最高硬度の變化を示すと第 27 表第 31 圖の様であつて 450~600°C 即ち  $\alpha+\gamma$  の範圍内から焼戻したものは焼戻温度の高低に關らず之を焼戻す際得らるゝ最高硬度が殆んど變らない。然るに 600~700°C の範圍内から焼戻したものを焼戻す際得らるゝ最高硬度は前者に比して可成高い。是は恐らく主として 600°C 附近に表はれる共析反應に依る結晶粒微細化に起因するものと考へられる。

f. 綜合 以上 a, b, c, d, e

第 22 表 (燒 戻 温 度 300°C)

| Al % | 硬 度 (V.H.N)            |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------|------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|      | 460°C か<br>ら焼入し<br>たもの | 焼戻時間 (時) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|      |                        | ½        | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| 5.0  | 60                     | 61       | 60  | 60  | 62  | 61  | 61  | 61  | 60  | 62  | 62  | 62  |
| 5.7  | 62                     | 63       | 63  | 62  | 62  | 44  | 64  | 63  | 64  | 63  | 64  | 64  |
| 6.0  | 76                     | 240      | 225 | 224 | 223 | 220 | 224 | 222 | 223 | 224 | 224 | 223 |
| 6.5  | 82                     | 282      | 272 | 271 | 273 | 274 | 275 | 271 | 274 | 275 | 275 | 275 |
| 7.0  | 88                     | 339      | 325 | 324 | 322 | 320 | 318 | 321 | 324 | 322 | 323 | 324 |
| 7.5  | 90                     | 349      | 333 | 332 | 331 | 334 | 336 | 334 | 332 | 334 | 337 | 341 |
| 8.0  | 92                     | 98       | 124 | 168 | 195 | 228 | 248 | 261 | 285 | 311 | 342 | 342 |

第 23 表 (燒戻温度 300°C)

| Al % | 硬 度 (V.H.N)            |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------|------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|      | 500°C か<br>ら焼入し<br>たもの | 焼戻時間 (時) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|      |                        | ½        | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| 5.0  | 60                     | 60       | 61  | 61  | 62  | 62  | 62  | 63  | 62  | 62  | 63  | 63  |
| 5.7  | 62                     | 74       | 71  | 70  | 70  | 71  | 71  | 72  | 71  | 72  | 71  | 72  |
| 6.0  | 76                     | 243      | 228 | 224 | 225 | 226 | 227 | 228 | 228 | 226 | 227 | 227 |
| 6.5  | 82                     | 285      | 275 | 276 | 274 | 276 | 274 | 272 | 274 | 276 | 274 | 275 |
| 7.0  | 88                     | 342      | 328 | 325 | 328 | 327 | 331 | 325 | 330 | 329 | 331 | 334 |
| 7.5  | 90                     | 351      | 336 | 331 | 328 | 331 | 338 | 330 | 329 | 334 | 333 | 337 |
| 8.0  | 92                     | 115      | 122 | 173 | 224 | 268 | 318 | 344 | 346 | 349 | 342 | 336 |
| 8.5  | 96                     | 107      | 122 | 138 | 150 | 196 | 219 | 242 | —   | 281 | —   | 319 |

第 24 表 (燒戻温度 300°C)

| Al % | 硬 度 (V.H.N)            |          |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------|------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|      | 500°C か<br>ら焼入し<br>たもの | 焼戻時間 (時) |     |     |     |     |     |     |     |     |
|      |                        | ½        | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
| 5.0  | 60                     | 60       | 61  | 60  | 60  | 62  | 61  | 60  | 61  | 61  |
| 5.7  | 62                     | 75       | 71  | 72  | 71  | 70  | 71  | 71  | 70  | 71  |
| 6.0  | 77                     | 242      | 225 | 231 | 228 | 230 | 231 | 234 | 235 | 241 |
| 6.5  | 84                     | 284      | 275 | 275 | 273 | 275 | 276 | 279 | 262 | 267 |
| 7.0  | 90                     | 342      | 331 | 330 | 333 | 328 | 331 | 329 | 328 | 332 |
| 7.5  | 92                     | 351      | 340 | 338 | 342 | 344 | 345 | 347 | 349 | 345 |
| 8.0  | 92                     | 118      | 164 | 198 | 250 | 306 | 330 | 351 | 349 | 344 |

第 25 表 (燒戻温度 300°C)

| Al % | 硬 度 (V.H.N)            |          |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------|------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|      | 650°C か<br>ら焼入し<br>たもの | 焼戻時間 (時) |     |     |     |     |     |     |     |     |
|      |                        | ½        | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
| 5.0  | 61                     | 61       | 60  | 61  | 62  | 60  | 61  | 62  | 62  | 62  |
| 5.5  | 62                     | 63       | 64  | 62  | 64  | 63  | 62  | 64  | 64  | 64  |
| 5.7  | 78                     | 112      | 103 | 99  | 102 | 100 | 101 | 103 | 102 | 102 |
| 6.0  | 94                     | 258      | 247 | 245 | 249 | 250 | 251 | 251 | 253 | 254 |
| 6.5  | 103                    | 318      | 300 | 296 | 298 | 301 | 300 | 303 | 305 | 302 |
| 7.0  | 108                    | 348      | 341 | 340 | 341 | 340 | 342 | 340 | 343 | 344 |
| 7.5  | 110                    | 361      | 351 | 350 | 351 | 350 | 352 | 350 | 353 | 355 |
| 8.0  | 94                     | 125      | 168 | 222 | 268 | 321 | 351 | 354 | 351 | 348 |

第 29 表 Al 6.5% (燒入温度 500°C, 燒戻温度 300°C)

| 性 質                                     | 燒戻時間 (時) | 500°C か<br>ら焼入し<br>たもの | ½           | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 10     | 15     | 20     | 25     | 287 |
|---|----------|------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
|   |          |                        | 硬 度 (V.H.N) | 82     | 285    | 275    | 276    | 274    | 276    | 274    | 274    | 274    | 275 |
| 比抵抗 10 <sup>6</sup> ohm/cm <sup>2</sup> | 25.02    | 40.10                  | 37.25       | 36.63  | 36.85  | 36.79  | 36.77  | 36.88  | 36.92  | 39.02  | 39.19  | 39.55  |     |
| 比 重                                     | 8.9411   | 8.9398                 | 8.9397      | 8.9396 | 8.9396 | 8.9396 | 8.9397 | 8.9397 | 8.9396 | 8.9396 | 8.9397 | 8.9396 |     |

第 26 表 (燒戻温度 300°C)

| Al % | 硬 度 (V.H.N)            |          |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------|------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|      | 720°C か<br>ら焼入し<br>たもの | 焼戻時間 (時) |     |     |     |     |     |     |     |     |
|      |                        | ½        | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
| 5.0  | 62                     | 62       | 62  | 63  | 62  | 63  | 64  | 63  | 63  | 63  |
| 5.5  | 63                     | 63       | 65  | 63  | 63  | 63  | 64  | 62  | 62  | 63  |
| 5.7  | 79                     | 118      | 107 | 104 | 103 | 105 | 106 | 105 | 109 | 112 |
| 5.8  | 83                     | 168      | 159 | 156 | 158 | 157 | 160 | 162 | 160 | 162 |
| 5.9  | 94                     | 208      | 192 | 191 | 192 | 201 | 200 | 196 | 194 | 194 |
| 6.0  | 99                     | 265      | 248 | 250 | 252 | 249 | 253 | 254 | 253 | 256 |
| 6.5  | 110                    | 320      | 294 | 293 | 298 | 300 | 301 | 305 | 306 | 304 |
| 7.0  | 114                    | 354      | 342 | 340 | 344 | 343 | 345 | 342 | 344 | 345 |
| 7.5  | 117                    | 365      | 353 | 355 | 354 | 352 | 351 | 354 | 353 | 352 |
| 8.0  | 96                     | 135      | 193 | 242 | 281 | 323 | 352 | 353 | 348 | 347 |

第 27 表 (燒戻温度 300°C)

| 燒<br>戻<br>温<br>度<br>Al % | 硬 度 (V.H.N) |       |       |       |       |       |
|--------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | 460°C       | 500°C | 560°C | 650°C | 700°C | 720°C |
| 5.0                      | 60          | 61    | 61    | 62    | 62    | 62    |
| 5.5                      | 62          | 63    | 63    | 64    | 64    | 64    |
| 5.7                      | 74          | 75    | 75    | 84    | 85    | 85    |
| 6.0                      | 240         | 241   | 243   | 261   | 265   | 270   |
| 6.5                      | 283         | 285   | 284   | 311   | 315   | 318   |
| 7.0                      | 340         | 342   | 344   | 355   | 358   | 360   |
| 7.5                      | 350         | 351   | 352   | 361   | 364   | 365   |
| 8.0                      | 348         | 349   | 348   | 351   | 354   | 368   |

第 28 表

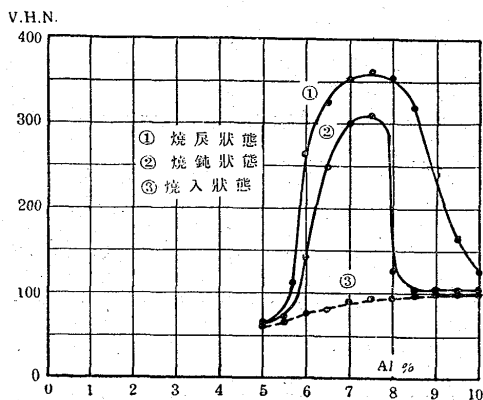
| 熱<br>處<br>理<br>Al % | 最高硬度 (V.H.N) |                |                | 熱<br>處<br>理<br>Al % | 最高硬度 (V.H.N) |                |                |
|---------------------|--------------|----------------|----------------|---------------------|--------------|----------------|----------------|
|                     | 燒 鈍<br>(爐冷)  | 燒 入<br>(720°C) | 燒 戻<br>(300°C) |                     | 燒 鈍<br>(爐冷)  | 燒 入<br>(720°C) | 燒 戻<br>(300°C) |
|                     | 5.0          | 90             | 61             |                     | 61           | 8.0            | 92             |
| 5.5                 | 92           | 64             | 64             | 8.5                 | 96           | 106            | 322            |
| 6.0                 | 76           | 142            | 264            | 9.0                 | 98           | 105            | 241            |
| 6.5                 | 82           | 251            | 324            | 9.5                 | 99           | 105            | 165            |
| 7.0                 | 88           | 300            | 351            | 10.0                | 99           | 105            | 125            |
| 7.5                 | 90           | 310            | 365            |                     |              |                |                |

第 30 表

|     | 硬 度         | 比 抵 抗       | 比 重   | 顯 微 鏡 組 織    |
|-----|-------------|-------------|-------|--------------|
| A 區 | 上 昇         | 増 大         | 減 少   | (α+γ)→(α+β') |
| B 區 | 最高を経て<br>軟化 | 最高を経て<br>減少 | 減 少   | (α+γ)→(α+β') |
| C 區 | 變化なし        | 變化なし        | 變化なし  | α+β'         |
| D 區 | 多少上昇        | 増 加         | 變化少なし | α(β')+β'     |

各項の實驗結果を綜合して  $Al=5\sim 10\%$  殘部  $Ag$  からなる合金の焼鈍、焼入、焼戻状態に於ける成分と最高硬度との關係を示すと第 28 表第 32 圖のようになる。但し此場合の焼鈍とは約  $500^{\circ}C$  から爐冷したもので  $500^{\circ}C$  から降下するに約 3

第 32 圖 成分と最高硬度



の關係を示すと第 28 表第 32 圖のようになる。但し此場合の焼鈍とは約  $500^{\circ}C$  から爐冷したもので  $500^{\circ}C$  から降下するに約 3

時間を要した。第 32 圖から次の事が判る。

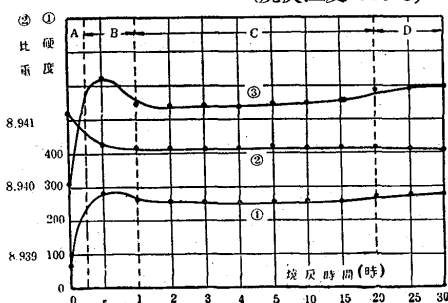
(イ) 焼入状態に於ては各合金共硬度 (V.H.N) 100 以下で軟かい。

(ロ) 然るに焼入後焼戻すると  $Al=5.6\sim 9.5\%$  即ち常溫で  $\alpha+\beta$  の範圍にあるものは非常に硬化され、その硬度最高 (V.H.N) 360 に達す。

(ハ) 焼入焼戻に依て硬化する範圍内の合金は其の焼鈍状態の硬度も亦高い。但し焼入焼戻状態よりも幾分軟らかである。

3. 焼戻硬化の機構 以上諸實驗の結果を綜合すると銀を主成分とする  $Ag-Al$  系合金を各種の溫度から焼入焼戻した場合、物理的機械的性質に次の變化の起る事が判る。

第 33 圖  $Al 6.5\%$  (焼入溫度  $500^{\circ}C$   
焼戻溫度  $300^{\circ}C$ )



a.  $Ag-Al$  系合金の  $Al$  比  $=5\sim 10\%$  を含むものを  $460\sim 720^{\circ}C$  の各溫度から焼入した場合之を常溫に放

置しても何れの成分のものも硬化現象を起さない。又、 $100\sim 150^{\circ}C$  で焼戻しを行ても、殆ど硬化現象を示さない。然るに  $200\sim 350^{\circ}C$  で焼戻すと  $Al=5.5\sim 7.7\%$  のもの、及び  $Al=7.7\sim 10\%$  のものは焼戻硬化現象を示しかして焼戻硬化の速度は前者の場合と後者の場合とは可成異り、前者では急激に起り、後者では緩漫に起る。

b. 今前者のもの一例として  $6.5\%$   $Al$  を含む合金の焼戻硬化に伴ふ物理的、機械的性質の變化を示すと第 29

表第 33 圖及寫眞 5 のようになる。

第 33 圖及び寫眞 5 から表を作ると第 30 表のようになる 先づ A 區に於ては焼戻しと共に  $\alpha+\gamma$  が  $\alpha+\beta'$  に變化する事に依て膨脹を起し、比重は減少すると共に電氣抵抗は増大し硬度は上昇する。

而して此試料は平衡圖が示す様に  $Al=5.6\%$  を含む  $Ag$  の固溶體と  $\beta'$  の混合組織となる。但し此の場合の  $\beta'$  は恐らく微粒化された状態にあるものと考へられる。此の際の硬化の内容は  $\beta'$  其のものの性質に大部分支配せられ、相變化の不安定階梯に於ける格子の歪に依るものは極めて小部分であると考へられる。

今  $\alpha, \beta', \gamma$  の性質を表示すると第 31 表寫眞 6 のようになる。

第 31 表

| 相                    | $\alpha$               | $\beta'$               | $\gamma$               |
|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $Al\%$               | 5.5%                   | 7.7%                   | 11.0%                  |
| 性質                   |                        |                        |                        |
| 硬度 (V.H.N)           | 6.0                    | 350.                   | 90.                    |
| 比重                   | 9.1510                 | 8.8761                 | 8.7016                 |
| 電氣比抵抗 ( $ohm/cm^2$ ) | $20.77 \times 10^{-6}$ | $53.15 \times 10^{-6}$ | $33.32 \times 10^{-6}$ |

第 31 表から  $\beta'$  化合物そのものは  $\alpha$  或は  $\gamma$  に比して硬度が著しく高く、比重も小で、電氣抵抗は著しく大きい事が判る。従て  $\alpha+\gamma$  が  $\alpha+\beta'$  に變化する事に依て起る硬度、電氣抵抗、比重等の變化は  $\beta'$  そのものの性質に負ふ處が多い事が判る。又、B 區に於ける  $\beta'$  の結晶の成長に伴ふ軟化現象が比較的小なる事も此推論を肯定する一事實である。

B 區は  $\beta'$  の成長であり

C 區は其の成長が停止した状態にあるものと考へられる

D 區に到て漸く  $Al=5.6\%$  を含む  $Ag$  の固溶體が溶解度曲線に沿ふて  $\alpha$  中から  $\beta'$  を析出し初める事は顯微鏡組織寫眞 5 で明瞭に認められる所である。

然るに  $\alpha$  中から  $\beta'$  が析出される量は溶解度曲線の傾斜が少ない爲め極めて少量で、従て析出に因る硬化も亦少ないので、尙此場合の少量の硬化も恐らく析出された  $\beta'$  そのものの性質に影響される事は前の  $(\alpha+\gamma) \rightarrow (\alpha+\beta')$  の變化と全く同様と考へられる。

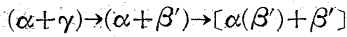
即ち焼戻硬化の内容は

1  $\gamma$  が  $\beta'$  に變化する事 2  $\alpha$  から  $\beta'$  が析出する事の二作用に因るものであるが 2 は 1 に比して極めて小な

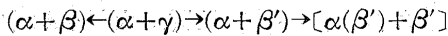
る事が明かである。

結局  $Al=5.6\sim 7.7\%$  残部  $Ag$  合金 ( $7.7\%$   $Al$  の化合物と単一相  $\alpha$  との範囲内のもの) を焼入し之を焼戻す際に起る物理的、機械的諸性質の變化を  $\alpha, \beta', \gamma$  の性質から考へて見ると次の経過を取るものと考へられる。即ち

④  $460\sim 600^\circ C$  で焼入した時



⑤  $600^\circ C$  以上から焼入した時



先づ④型に就て考へると、焼入に依て  $\alpha + \gamma$  であつたものが  $200^\circ C$  以上の焼戻しに依て  $\alpha + \beta'$  に變化する。此場合の變化は焼入に依て得られる  $\alpha$  及  $\gamma$  が共に軟かいのに反し之が焼戻される事に依て  $\beta'$  なる硬きものに變化するために硬化現象を起すもので、焼入に依て過飽和状態にある  $\alpha$  から  $\beta'$  が析出する作用は殆んど等閑視し得るものと考へられる。

次に⑤型即ち  $600^\circ C$  以上から焼入したものは最初から共析反應が發生するために結晶粒が微細化されて居るので焼入後  $(\alpha + \beta) \rightarrow (\alpha + \gamma)$  となるが  $600^\circ C$  以下で焼入したものよりも更に結晶粒が小さいので、焼入後、焼戻に依る硬度が多少高くなる事は容易に了解出来る。

又  $Al=7.7\sim 9.5\%$  (即ち  $7.7\%$   $Al$  化合物を境としてそれより  $Al\%$  の高い部分) に就ても焼入に依て得られる  $\gamma$  が多少  $\beta'$  に變化し、溶解度曲線の變化に沿て  $\beta'$  が次第に増加して行く事から考へて焼戻硬化の速度の緩慢なる事も容易に推則する事が出来る。

以上の諸説明に依て  $Al=5.6\sim 9.5\%$  残り  $Ag$  の合金

を  $460\sim 720^\circ C$  の各種の溫度から焼入し、之を  $200\sim 350^\circ C$  の各種の溫度で焼戻を行つた場合の焼戻硬化の機構を明らかに説明する事が出来る。

### V. 結 言

1. 銀を主成分とする  $Ag-Al$  系合金の熱膨脹試験、示差熱膨脹試験及顯微鏡試験の結果、銀側に於て  $(\alpha + \gamma)$  と  $\gamma$  との境は殆んど  $Al 7.7\%$  線上附近に位する事を確めた

2.  $\alpha + \gamma$  の範囲から焼入した試料はクロム酸濃硫酸の飽和溶液を 20 倍の水に薄めた溶液で腐蝕すると其の共析組織を明瞭に識別する事が出来る。

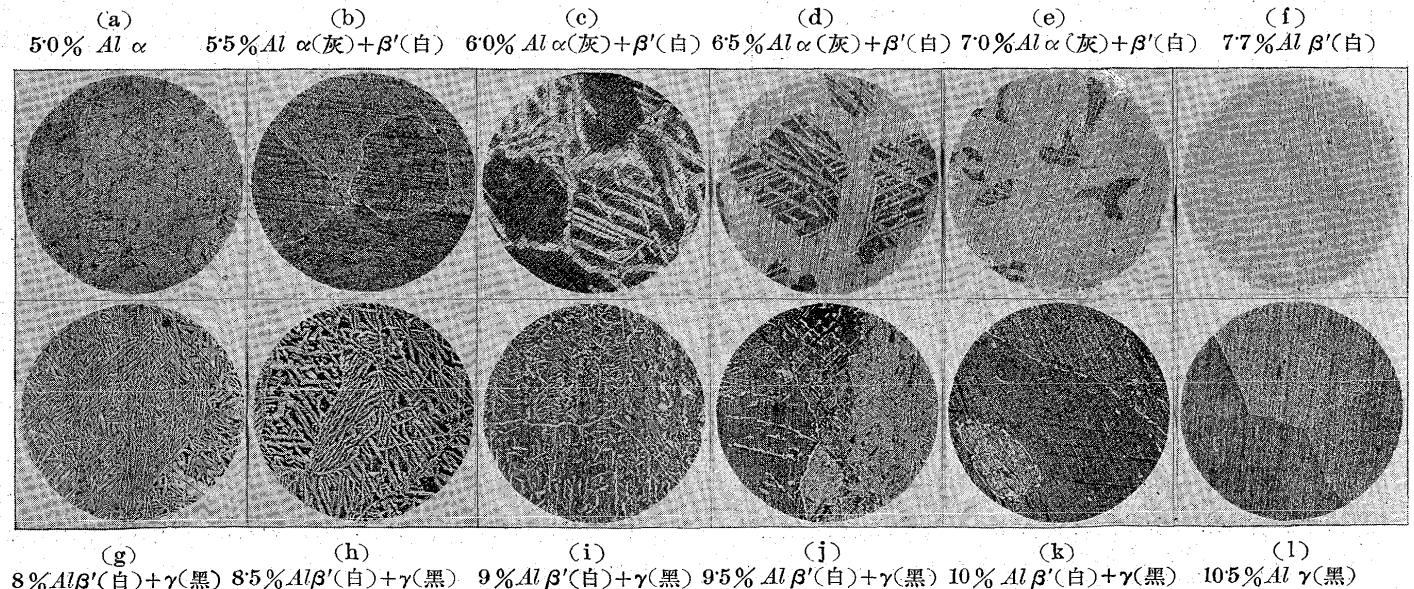
3. 本系合金の焼戻硬化現象を起す範囲は  $5.6\sim 9.5\%$   $Al$  に互るもので、焼入溫度は  $450\sim 700^\circ C$ 、焼戻溫度  $200\sim 350^\circ C$  とすると、最高硬度は Vickers 硬度  $300\sim 365$  のものが得られる。

4.  $Al 5.6\sim 9.5\%$  の中化合物  $Ag_3Al$  ( $7.7\%$   $Al$ ) を境としてその前後のものゝ硬化速度は異てゐる。 $Al\%$  の少い側のものは極めて短時間の焼戻に依て最大硬度が得られるに反して  $Al\%$  の多い側のものは少くとも數時間の焼戻を必要とするものである。

5. 共析反應に依る結晶粒微細化現象に依て高溫度即ち  $600^\circ C$  以上から焼入したものゝ方が低溫度即  $600^\circ C$  以下から焼入したものよりも焼戻した際、大なる硬度が得られる。

6. 本系合金の焼戻による硬化は焼入に依て得られる軟質の  $\alpha$  及  $\gamma$  が焼戻に依て、相互に反應して硬質の  $\beta'$  となる爲めである。而して焼戻硬化の最も一般的な場合である溫

寫 眞 1  $300^\circ C$  に於ける組織 ( $\times 250$  を縮寫す)



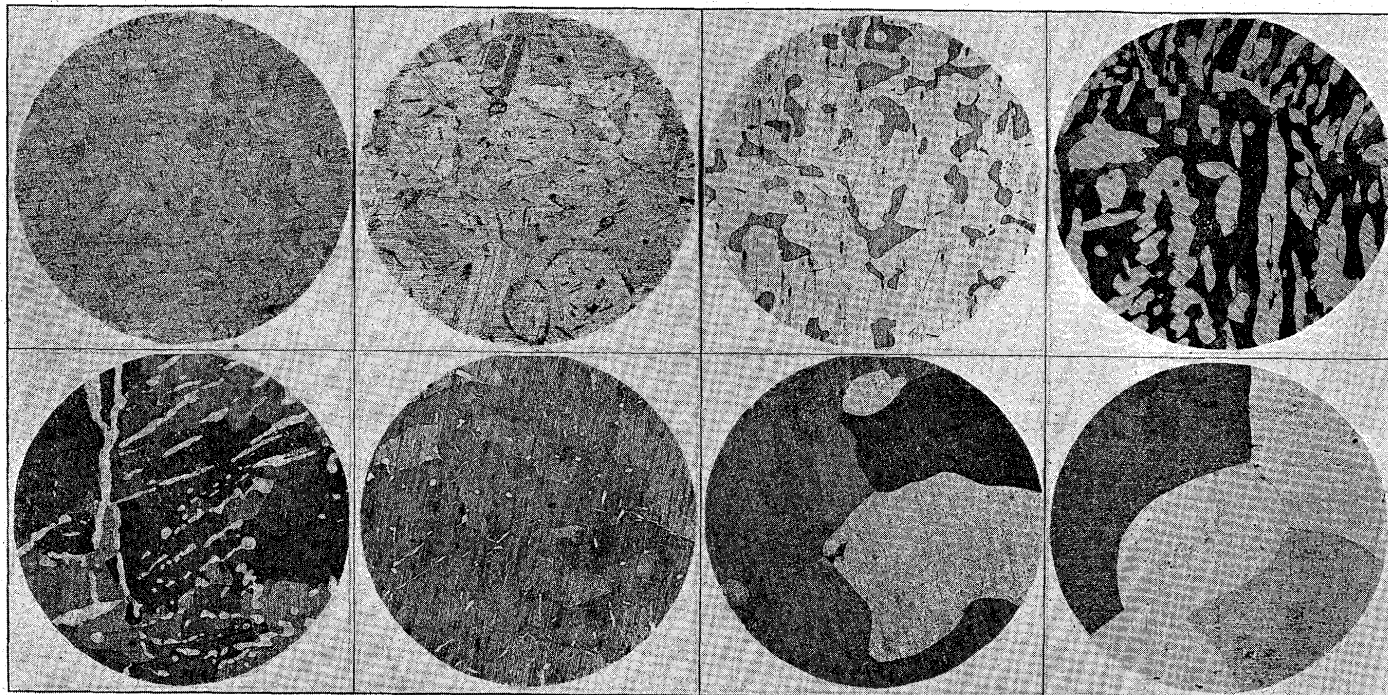


度に依る溶解度の變化に基く硬化は本合金では殆んど之を  
等閑視し得る事を明らかにした。

終りに臨み、本研究を行ふに際し終始御懇切な御指導を  
賜はつた石田先生に厚く御禮申上げます。(以上)

寫眞 2 500°C に於ける組織 (×75 を縮寫す)

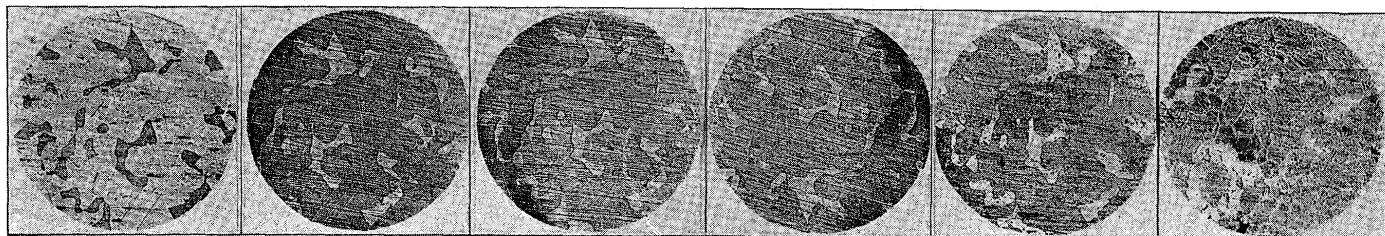
(a) 5.5% Al α (b) 5.6% Al α(灰白)+γ(黒) (c) 6.2% Al α(灰白)+γ(黒) (d) 6.6% Al α(灰白)+γ(黒)



(e) 7.1% Al α(灰白)+γ(黒) (f) 7.4% Al α(灰白)+γ(黒) (g) 8% Al γ (h) 9% Al γ

寫眞 3 焼戻に伴ふ顯微鏡組織の變化 (×75 を縮寫す) 6% Al (焼入溫度 500°C 水冷、焼戻溫度 300°C)

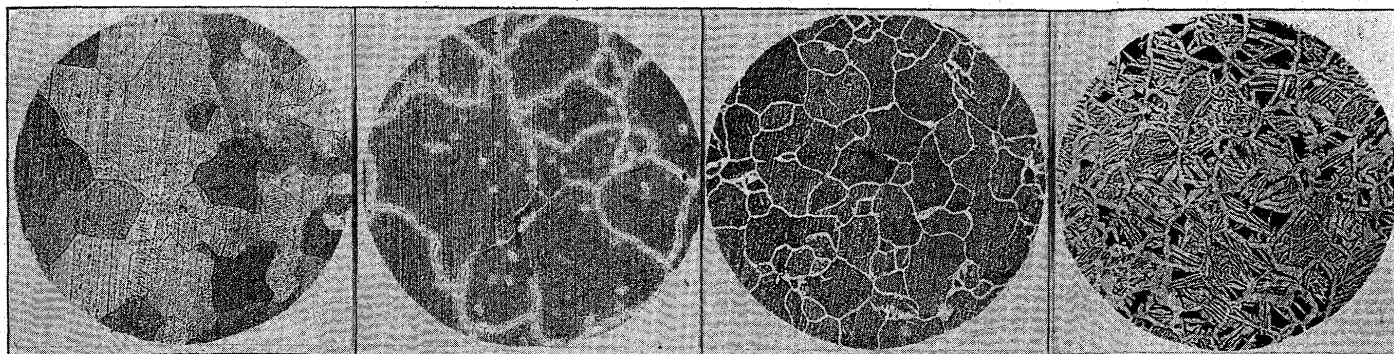
(a) (b) (c) (d) (e) (f)



a 焼入状態(500°C 水冷) α(白)+γ(暗) d 焼戻時間 10 時間 α(暗)+β'(白)  
b 焼戻時間 1/2 時間 α(暗)+β'(白) e 焼戻時間 20 時間 α(暗)[+β'(白)]+β'(白)  
c 焼戻時間 3 時間 α(暗)+β'(白) f 焼戻時間 40 時間 α(暗)[+β'(白)]+β'(白)

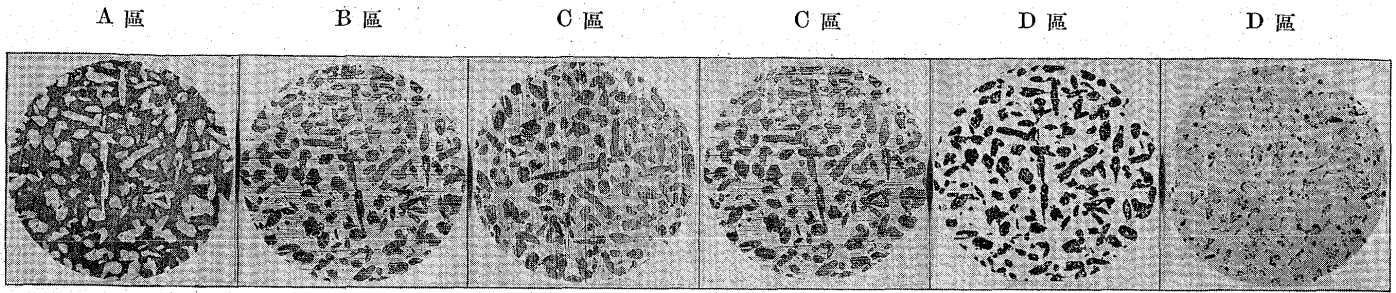
寫眞 4 焼戻に伴ふ顯微鏡組織の變化 (×75 を縮寫す) 8% Al (焼入溫度 500°C 水冷、焼戻溫度 300°C)

(a) (b) (c) (d)



a. 焼入状態(500°C 水冷)γ b. 焼戻時間 1 時間 γ(黒)+β'(白) c. 焼戻時間 3 時間 γ(黒)+β'(白) d. 焼戻時間 8 時間 γ(黒)+β'(白)

寫眞5 焼戻に伴ふ顯微鏡組織の變化 (×75 を縮寫す) 6.5% Al (焼入溫度 500°C 水冷, 焼戻溫度 300°C)



A 區  $\alpha$ (灰)+ $\gamma$ (暗)

B 區 焼戻時間 1/2 時間  $\alpha$ (暗)+ $\beta'$ (灰)

C 區 焼戻時間 3 時間  $\alpha$ (暗)+ $\beta'$ (灰)

C 區 焼戻時間 10 時間  $\alpha$ (灰)+ $\beta'$ (白)

D 區 焼戻時間 20 時間  $\alpha$ (灰)[+ $\beta'$ (白)]+ $\beta'$ (白)

D 區 焼戻時間 40 時間  $\alpha$ (灰)[+ $\beta'$ (白)]+ $\beta'$ (白)

寫眞6 (×75 を縮寫す)

