

# Mgを主體とせるMg-Al-Sn三元系合金 の時効硬化に就て

西 村 研 究 室

田 中 一 夫

緒 言

Mg に対する Al の溶解度は既に多數の人々に依りて確定されてゐるのであるが、Mg 對する Sn の溶解度の研究は我が國では大谷氏が共晶溫度で 3%，常溫で 0.6% と發表してゐる。外國にては Grube 氏の如く全然溶解度を認めないと云ふ報告、或ひは Haughton 氏の如く共晶溫度で 10%以上の溶解度有りとの發表も有りその説の差異甚しき故、Mg-Al-Sn 三元系合金の時効硬化の研究に着手すると同時に、傍ら Mg に對する Sn の溶解度を確かめたのである。

## Mg 側に於ける Sn の 固態溶解度の測定

第1表に示す如き Mg-Sn 二元系合金12個を調製して、主として顯微鏡試験に依つて判定することとした。先づ試料合金はクロム酸鹽類の混合物 ( $K_2Cr_2O_7$  25,  $Na_2Cr_2O_7$  75,  $K_2CrO_4$  3,) を豫め熔融した浴槽中で 550°C, 500°C, 450°C, 400°C, 等で40時

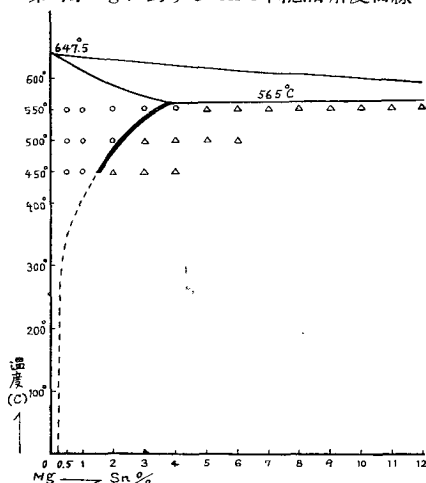
第 1 表

Mg-Sn二元系合金の組成

| 合金番號 | Sn % |
|------|------|
| 1    | 0.5  |
| 2    | 1.0  |
| 3    | 2.0  |
| 4    | 3.0  |
| 5    | 4.0  |
| 6    | 5.0  |
| 7    | 6.0  |
| 8    | 7.0  |
| 9    | 8.0  |
| 10   | 9.0  |
| 11   | 10.0 |
| 12   | 12.0 |

を豫め熔融した浴槽中で 550°C, 500°C, 450°C, 400°C, 等で40時

第1圖 Mg に対する Sn の固態溶解度曲線



間加熱焼鈍して、  
夫々の溫度より  
15°C の水中に焼  
入後、清淨にして  
研磨した。最初は  
普通に用ひられる  
各種の Mg 合金用  
腐蝕液を使用した  
のであるが腐蝕す  
れば直ちに皮膜を

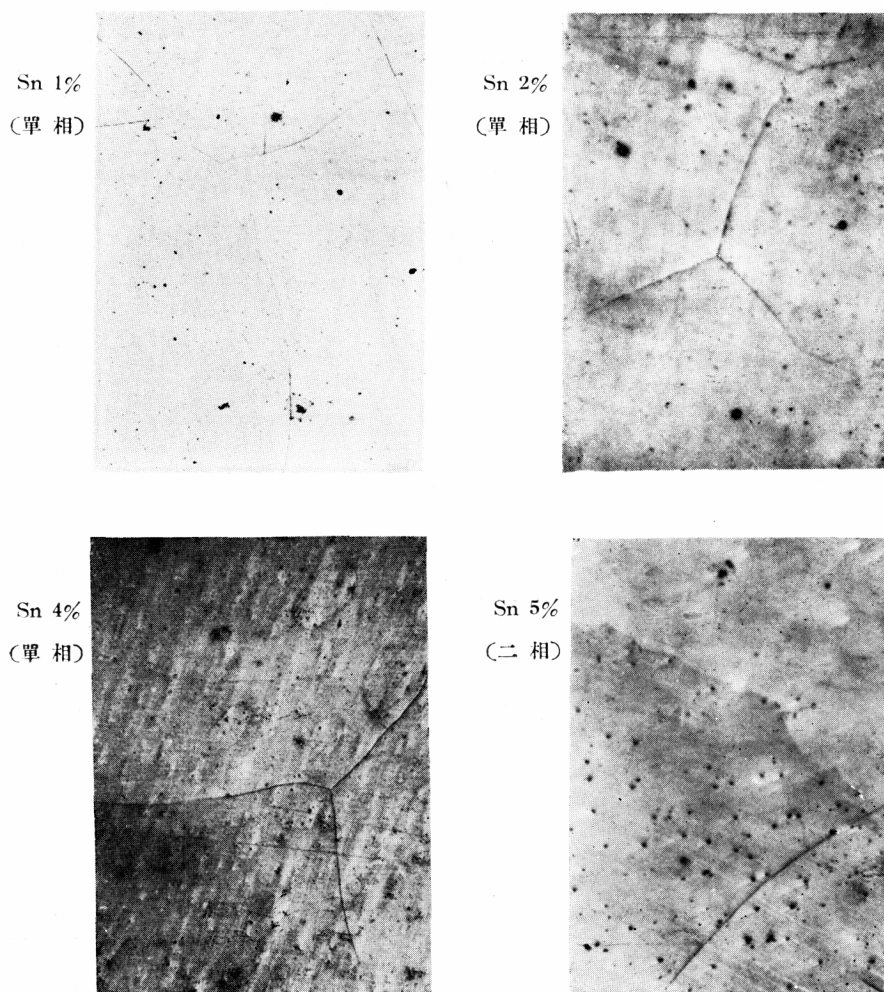
生じて判明し難き爲、更に稀硫酸又は稀苛性加里溶液を電解液として電解腐蝕法に依つて試みたが豫期した檢鏡資料を得られなかつた。次に研磨試片を瓦斯小焰上にて徐々に加熱して所謂加熱着色法 (Heat Tinting) に依つて初めて明瞭なる粒狀組織を得たのでこれに依つて判定し

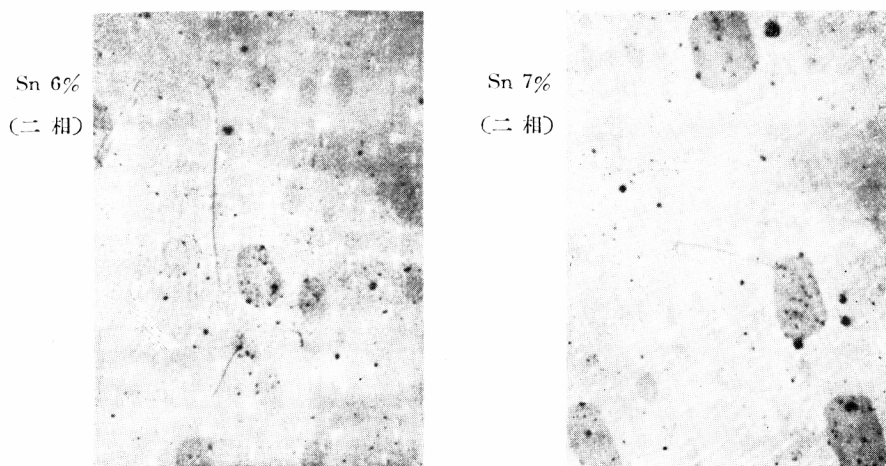
た。加熱時間は約 5 分間とした。檢鏡の結果第 2 圖顯微鏡寫眞の如く Sn は 550°C 焼入の場合 4%迄は單一固溶體で 5%以上は第二相が白色の點として一定の方向性を示して現はれ凡て二相となつた。即ち共晶溫度附近では Mg に對して Sn は 4%の固態溶解度を有する事及びそれ以下の低溫度の状態は、第 1 圖の如くに溶解度を減少することを確めたのである。

### 實 驗 方 針

上記の實驗結果からして Mg-Al-Sn 三元系に於て Al と同時に Sn も少量 Mg に固溶するものと考へられる。従つて、Mg-Al-Sn 三元系合金も時効性を有する事が想像出来るので本系合金に就きて特効硬化の現象を常溫、焼戻、兩方面より研究した。

第 2 圖 共晶溫度附近の Mg-Al-Sn 二元素合金の顯微鏡組織 (175倍)





### 試 料 の 調 製

本實驗に供した試料の材料は次の如き純度のものを使用した。

|      |       |       |               |
|------|-------|-------|---------------|
| { Al | ..... | 99.8% | Alcoc 製品      |
| { Mg | ..... | 99.8% | 大倉鑛業株式會社島田工場製 |
| { Sn | ..... | 99.9% | 電解錫           |

合金鑄造に際しては  $MgCl_2$  60%,  $KCl$  35%,  $NaF$  5%の混合物を融劑として用ひ所要の材料は鑄鐵製坩堝に入れて、ニクロム線電氣抵抗爐を用ひて熔融せしめ熔融後は屢々融劑の少量を添加しつつ、酸化を防ぎ過熱に注意して之を避け數回よく攪拌した後約  $300^{\circ}C$  に豫熱した幅 32m.m. 厚さ 10mm 長さ 115mm の金型に鑄込んだ。更に此の試片を長さ 25mm 位の小片に切斷して表面を清淨にして使用した。調製した試料は Sn は0.5~6%, Al は7~12%の範圍のもので第2表に示す40個の合金である。

第2表 Mg Al Sn 三元系合金の化學成分

| 合 金<br>番 號 | 合 金 成 分 |     |    | 合 金<br>番 號 | 合 金 成 分 |      |    |
|------------|---------|-----|----|------------|---------|------|----|
|            | Sn      | Al  | Mg |            | Sn      | Al   | Mg |
| 1          | 0.5     | 7.0 | 殘  | 21         | 3.0     | 9.0  | 殘  |
| 2          | 0.8     | 7.0 | "  | 22         | 4.0     | 9.0  | "  |
| 3          | 1.0     | 7.0 | "  | 23         | 5.0     | 9.0  | "  |
| 4          | 1.2     | 7.0 | "  | 24         | 6.0     | 9.0  | "  |
| 5          | 3.0     | 7.0 | "  | 25         | 0.5     | 11.0 | "  |
| 6          | 4.0     | 7.0 | "  | 26         | 0.8     | 11.0 | "  |
| 7          | 5.0     | 7.0 | "  | 27         | 1.0     | 11.0 | "  |
| 8          | 6.0     | 7.0 | "  | 28         | 1.2     | 11.0 | "  |
| 9          | 0.5     | 8.0 | "  | 29         | 3.0     | 11.0 | "  |

|    |     |     |   |    |     |      |   |
|----|-----|-----|---|----|-----|------|---|
| 10 | 0.8 | 8.0 | " | 30 | 4.0 | 11.0 | " |
| 11 | 1.0 | 8.0 | " | 31 | 5.0 | 11.0 | " |
| 12 | 1.2 | 8.0 | " | 32 | 6.0 | 11.0 | " |
| 13 | 3.0 | 8.0 | " | 33 | 0.5 | 12.0 | " |
| 14 | 4.0 | 8.0 | " | 34 | 0.8 | 12.0 | " |
| 15 | 5.0 | 8.0 | " | 35 | 1.0 | 12.0 | " |
| 16 | 6.0 | 8.0 | " | 36 | 1.2 | 12.0 | " |
| 17 | 0.5 | 9.0 | " | 37 | 3.0 | 12.0 | " |
| 18 | 0.8 | 9.0 | " | 38 | 4.0 | 12.0 | " |
| 19 | 1.0 | 9.0 | " | 39 | 5.0 | 12.0 | " |
| 20 | 1.2 | 9.0 | " | 40 | 6.0 | 12.0 | " |

### 常 温 時 効

試料を前述のクロム酸鹽類の混合物の浴槽中にて 400°C で 24時間加熱焼鈍後、冷水中に焼入直ちに硬度を測定し、常温に放置して7日間毎日同時刻に硬度を測定した。硬度の測定には小重錐型ブリネル硬度計 (load 250kg Ball diameter 5mm) を使用した。しかしその結果はほとんど時効硬化の現象は見られないことを知つたのである。

### 焼 戻 に 依 る 時 効

常温時効の場合と全く同様の方法で熱処理した合金を 400°C より冷水中に焼入後直ちに硬度を測定して、速かに 150°C, 200°C, 250°C, に正確に保持した空気浴中に入れて焼戻してその影響を探究したのである。第3圖～第5圖は三通の温度で焼戻した場合の状況を示す硬化曲線である。

#### I. 焼戻温度 150°C の場合の状況

これは第3圖に示す如くであるが Al 7% を含む合金は硬化が緩やかに起つて焼戻 85時間附近にて漸く最高硬度に達する傾向で Sn の比較的多いものが高くなつて居る。Sn の少いものは極く少しか硬化しない。Al が 9~12% の合金で Sn の多いものは焼戻 10時間にして硬度の上昇著しく 20時間にして最高硬度に達した。最高を示せるは No. 39合金 (Sn 5% Al 12%) でブリネル硬度 114 に達し硬化率は 67% となりエレクトロン合金にも優る硬度を示した。Sn の少いもの (1.2% 以下) は Al が比較的多い合金でも硬化が緩慢に起つてゐるが 85時間以上も焼戻すれば殆んど全部ブリネル硬度 90 附近に達してゐる。

#### II. 焼戻温度 200°C の場合の状況

これは第4圖に示す如くとなつた。Al 7%のものはやはり硬化が徐々に起つて居るが 150° C 焼戻の場合より、硬化が速く初まつて居り硬化の程度は大差がない。Al%が増すにつれて硬化も速かに起つて4時間で最高硬度を示した。Sn も多い程硬化が著しい傾向で 5—6%ものが特に顯著である。最高を示せるは No 38合金 (Sn 5%, Al 12%) でブリネル硬度 110 を示し硬化率は49%となつた。Sn の少いもので Al が多ければ20時間の焼戻で最高點に達しブリネル硬度 100 附近に多くの合金が達した。

#### ■, 焼戻温度 250°C の場合の狀況

これは第5圖に示す如くとなつた。總體に硬化の程度は低いのである。Al 7%のものは焼戻 20時間附近で最高硬度を示したが、Al がそれより増すにつれて硬化が速やかになつてゐる。Al 12%で Sn の多いものは2—4時間の焼戻により最高硬度に達しブリネル硬度で 100 附近、Sn の少ないもので 20—40 時間で最高硬度に達しブリネル硬度90附近となつた。

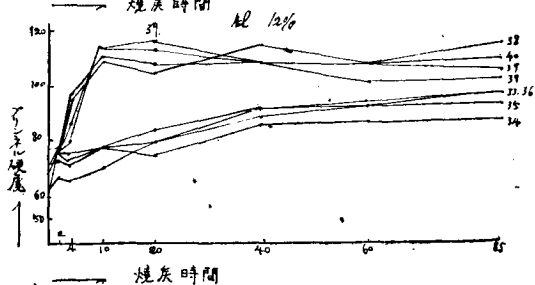
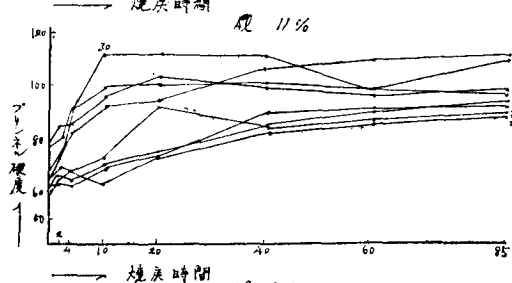
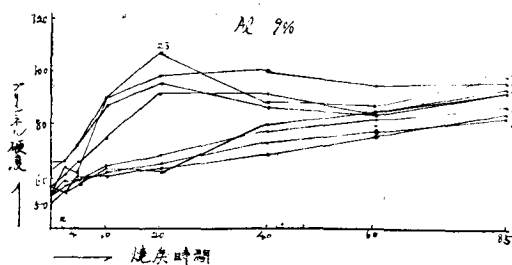
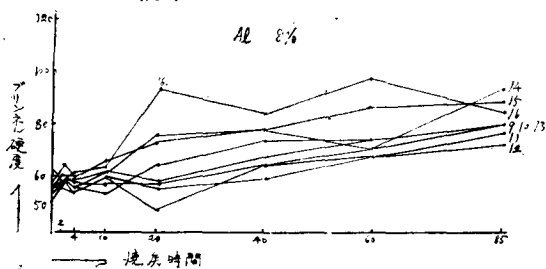
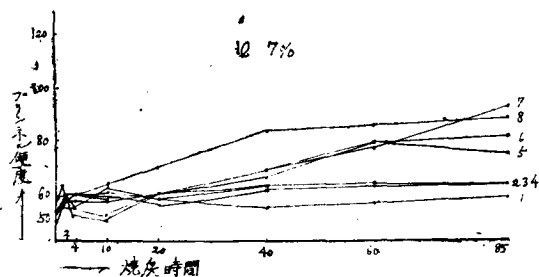
#### ■, Sn の硬度に及ぼす影響

第6圖は各温度の焼戻の最高硬度曲線圖とその硬化率である。Sn 4%迄はその量の増加に従つて硬化も著しく硬化率から見れば4%のものが何れも最高を示して、前述の Mg-Sn 二元系の固態溶解度實驗の結果と良く一致してゐる。

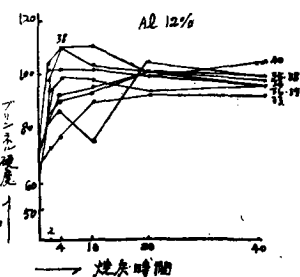
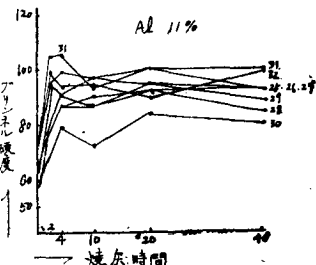
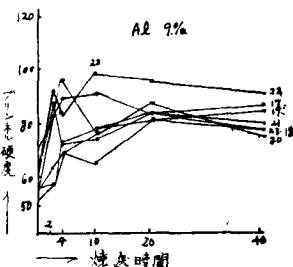
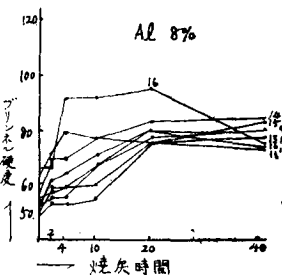
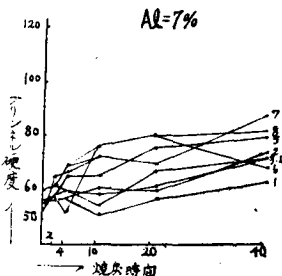
#### V, Al の硬度に及ぼす影響

第7圖に示す如くで筆者の實驗範圍 (Al 7—12%) ではその量の増加につれ硬化も速く、且硬化程度も著しく大である傾向を認めた。

第3圖 150°C 焼灰硬化曲線圖



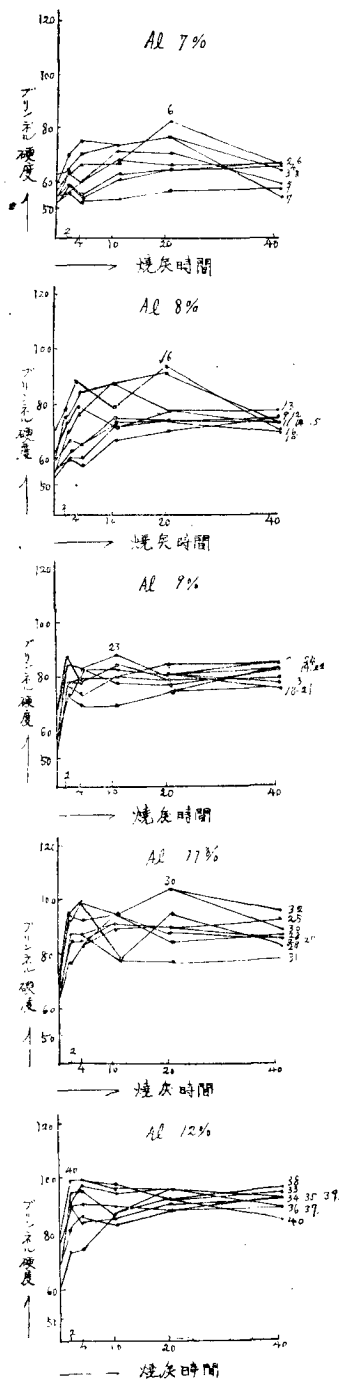
第4圖 200°C 焼灰硬化曲線圖



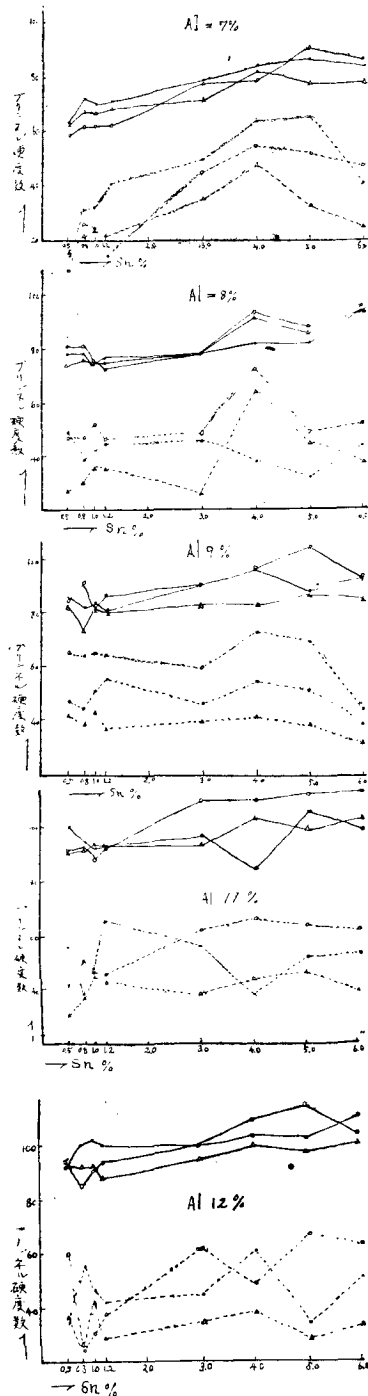
第5圖 最高硬度曲線と硬化率曲線

(—) 150°C 焼戻の場合の最高硬度    ●.....150°C 焼戻の場合の硬化率  
 (○) 200°C                                "                                ○.....200°C                                "  
 (△) 250°C                                "                                △.....250°C                                "

第5圖 250°C 焼戻硬化曲線圖



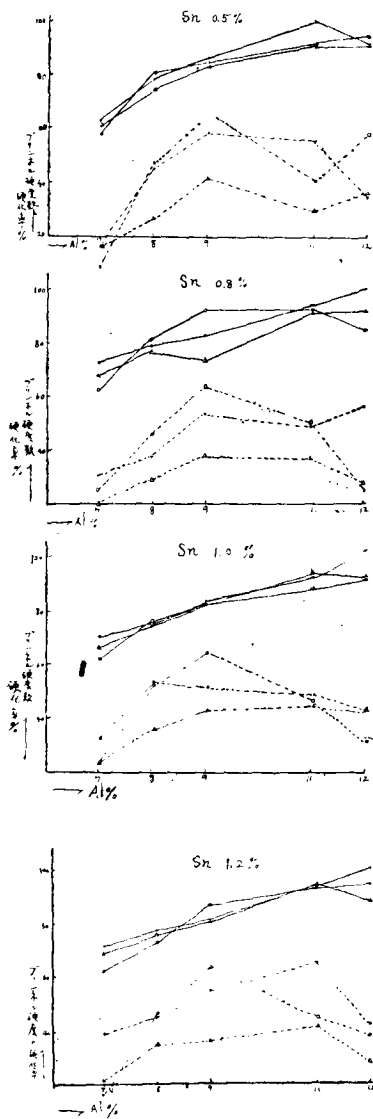
第6圖



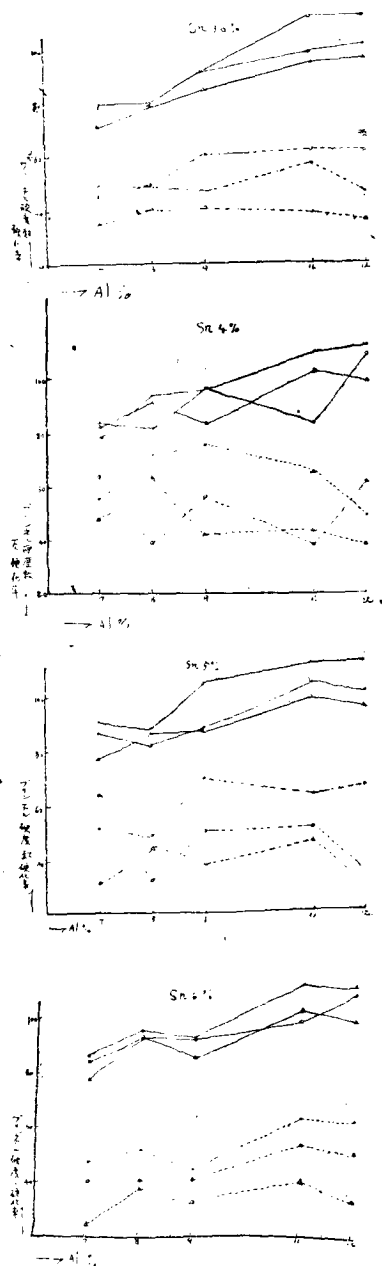
{第 6 圖 a} 最高硬度曲線と硬曲化線率

●—— 150°C 焼戻の場合の最高硬度    ●..... 150°C 焼戻の場合の硬化率  
○—— 200°C                                    ○..... 200°C                                    "  
△—— 250°C                                    △..... 250°C                                    "

第 6 圖



第 7 圖



## 結 論

- I. Mg 側に於ける Sn の固態溶解度は共晶温度附近で 4% であること。
- II. Mg-Al-Sn 三元系合金は常温時効を殆んどせないこと。
- III. 本系合金は焼戻によつてのみ硬化する合金であること。即ち焼戻は Al 10% 附近含む合金であれば 150°C 10 時間, 200°C ならば 4 時間施せば著しく硬度を増加し得ること。その中でも優秀なものは (Sn 5~6%, Al 12% Mg 残部) の組成を有する合金でブリネル硬度で 114 を示した。

終りに本研究は大倉鋳業株式會社の委託研究にして、御懇篤なる御指導を賜りたる西村秀雄先生、及澤本八衛氏に對し深甚なる謝意を表す。