研 究

銅基圧粉体の焼結時の寸法変化*

—圧粉体の焼結に関する研究(第1報)—

吉川昌範** 西本 廉** 浅枝敏夫**

Dimensional Changes during Sintering of Copper-Metal Compacts

—Study on the Sintering of Compacts (1st Report)—

Masanori YOSHIKAWA, Kiyoshi NISHIMOTO, Toshio ASaeda

The purpose of this paper is to describe a systematic investigation of the change in length during sintering of compacts made of copper powders as a base material. Dimensional changes of compacts during sintering were measured with an automatic recording dilatometer.

The results are as follows:

(1) Small size electrolytic copper compacts under compacting pressures above 6 ton/cm² shrink at the first step and then expand during sintering. This abnormal expansion is a result of the swelling of the surface layer of the sintered body which is caused by the existence of gas pockets enclosed in the compacts under the high compacting pressure. This swelling can be eliminated by adding a small amount of Mg and Ti to the compacts.

(2) In the system copper-added metal, if the solid solution to copper is much the greater, copper-added metal compacts expand during sintering. On the other hand, if the solid solution to added metal is much the greater, or if the solid solution to copper and added metal each other is extremely small, the compacts shrink.

1. まえがき

粉末冶金法の進歩にともない、高度の寸法精度を要する機械部品を、粉末冶金法により製作するようになってきた。機械部品を粉末冶金法により製作する場合、焼結後、機械加工を必要としない寸法精度が焼結体に要求される。そのためには、押型の精度を向上させることにより、高精度の圧粉体を成形すること、および、その精度を焼結によって低下させることなく、圧粉体と同一寸法精度の焼結体をうるが必要であると考えられる。しかし、一般に、圧粉体は焼結の進行とともに収縮し、その焼結体は加熱前の圧粉体と比較して収縮している。このような圧粉体の焼結による寸法変化については、従来より多くの研究が行なわれている。鉄基圧粉体について、Knopp¹⁾ は炭素を添加することにより、Jamisonら²⁾ は銅を添加することにより焼結時に膨張することを確かめ、藤井³⁾ は鉄焼結体の寸法変化におよぼす添加金属の影響について吟味している。銅基圧粉体について、Duwez⁴⁾ の銅-亜鉛圧粉体および三谷ら⁵⁾ の銅-アルミニウム圧粉体についての研究があり、銅-亜鉛圧粉体では

約 650°F (約 343°C) で急激な膨張を生ずること、銅-アルミニウム圧粉体では 548°C で異常発熱が生じ、それにより急激な膨張を生ずることが明らかにされている。しかし、圧粉体と同一寸法精度の焼結体をうるという観点から、圧粉体の焼結時の寸法変化を系統的に吟味した研究はみられない。

本研究は、圧粉体の寸法精度を低下させることなく焼結を行なうための基礎資料を提供する目的で、銅粉を基材とした圧粉体の加熱時の寸法変化を実験的に吟味したものである。

2. 実験方法

実験に使用した基材銅粉は、粒度の異なる 3 種の電解銅粉である。焼結による寸法変化調整用に添加した金属粉は、Sn, Bi, Cd, Pb, Zn, Sb, Mg, Al, Ag, Si, Ni, Fe, Ti, W の 14 種である。それらの形状および平均粒径を、表 1 に示す。加熱時の寸法変化測定用圧粉体試料は、電解銅粉に上記の添加金属粉を混合攪拌後、直径 5 mm、長さ 5 mm の円筒形に、所要の圧力で加圧成形したものである。その際一様密度の圧粉体試料をうる目的で、粉末の加圧成形は、固体潤滑剤である黒鉛粉を一樣に塗布した押型を用いて、フローティング加圧方式により行なった。上述のようにしてえられた圧粉体試料の加

*原稿受付 昭和44年10月3日、昭和42年度精機学会春季大会学術講演会(昭和42年4月6日)にて発表

**正 会 員 東京工業大学工学部(東京都目黒区大岡山 2-12-1)

表 1 使用粉末の形状および平均粒径

使用粉末	形状	平均粒径 μ
電解銅粉 I	樹枝状	27.9
II	"	62.1
III	"	70.2
錫粉	鱗片状	30.3
蒼鉛粉	粒状	18.0
カドミウム粉	"	22.7
鉛粉	鱗片状	31.6
亜鉛粉	粒状	167.5
アンチモン粉	"	15.3
マグネシウム粉	鱗片状	41.2
アルミニウム粉	"	19.1
銀粉	"	2.7
珪素粉	角状	5.2
ニッケル粉	樹枝状	52.0
鉄粉	"	22.6
チタン粉	角状	19.5
タンダステン粉	"	15.9

熱時の寸法変化を、試料の加圧方向、すなわち軸方向について、川崎製鉄製 D-2 型熱膨張計を用いて測定した。加熱は真空中（約 10^{-2} mmHg）で行ない、加熱速度はとくに指示しない限り $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ とした。温度は圧粉体試料近傍の炉内温度で表示し、それを熱電対で測定した。寸法変化および温度の記録は、自動平衡型電位差計によって行なった。

3. 実験結果および考察

3.1 銅圧粉体の寸法変化

基材として用いた銅粉の圧粉体が、加熱によってどのような寸法変化をするか、かつ寸法変化が銅粉の種類および成形圧力によってどのように異なるかについて吟味した。図 1 に、平均粒径の異なる 3 種の電解銅粉 I・II および III を、圧力 $4 \text{ ton}/\text{cm}^2$ で加圧成形した圧粉体試料の加熱時の寸法変化について測定した結果を示す。図において正の寸法変化は膨張を、負の寸法変化は収縮を示す。いずれの圧粉体試料も、加熱初期においては温度の上昇とともに直線的に膨張する。このときの膨張係数は約 $1.0 \times 10^{-5} ^{\circ}\text{C}^{-1}$ で、それは銅の膨張係数 1.65×10^{-5}

図 1 銅圧粉体の加熱時の寸法変化

$^{\circ}\text{C}^{-1}$ に比べてわずかに小さい。電解銅粉 I では約 300°C に達すると徐々に収縮が始まり、約 450°C 以上では温度の上昇とともに収縮の割合は増大し、加熱を完了した 900°C で収縮率は約 8.0% となる。電解銅粉 II および電解銅粉 III の加熱にともなう寸法変化の状況は、電解銅粉 I のそれとほぼ同じである。しかし、収縮が始まる温度は電解銅粉 II では約 430°C 、電解銅粉 III では約 520°C であり、加熱を完了した 900°C での収縮率は電解銅粉 II では約 3.9%、電解銅粉 III では約 1.5% である。すなわち、平均粒径の小さい粉末ほど収縮開始温度は低く、かつ収縮率は大きい。これは、平均粒径の小さい粉末の方が圧粉体密度が小さい（測定結果による）ので、焼結による収縮が大きいためであると判断される。

図 2 (a), (b) に、電解銅粉 I および電解銅粉 III を、圧力 2, 4, 6, 8, $10 \text{ ton}/\text{cm}^2$ で加圧成形した圧粉体の、加熱時の寸法変化を示す。図 2 (a) は電解銅粉 I を用いた場合である。成形圧力 $4 \text{ ton}/\text{cm}^2$ までの圧粉体の加熱時の寸法変化の状況は前述のそれと同じであり、加熱による収縮率は成形圧力の小さい方が大きい。これは、成形圧力の小さい方が圧粉体密度が小さいためであると判断される。しかし、成形圧力 $6 \text{ ton}/\text{cm}^2$ 以上の圧粉体の加熱時の寸法変化の状況は、成形圧力 $4 \text{ ton}/\text{cm}^2$ までの圧粉体と異なり、温度の上昇とともに収縮率は増大するが、ある温度で収縮率は最大となり、それ以上の温度

(a) 電解銅粉 I の場合

(b) 電解銅粉 III の場合

図 2 加熱時の寸法変化の成形圧力による影響

図 3 銅焼結体の断面顕微鏡写真 (×42)

でふたたび膨張する。上述の収縮率が最大となる温度、すなわち膨張が始まる温度は成形圧力によって異なり、成形圧力 6 ton/cm^2 では約 670°C 、 8 ton/cm^2 では約 580°C 、 10 ton/cm^2 では約 550°C であり、この膨張開始温度は成形圧力が大きくなると低くなる。また、収縮率は、成形圧力が大きいほど小さいが、上記温度以上での膨張率は、成形圧力が大きいほど大きい。図 2 (b) は電解銅粉Ⅲを用いた場合である。成形圧力 4 ton/cm^2 までの圧粉体の寸法変化の状況は電解銅粉Ⅰのそれとほぼ同じであり、収縮が始まる温度は 470°C ～ 530°C である。しかし、成形圧力 6 ton/cm^2 以上の圧粉体の加熱時の寸法変化の状況は 4 ton/cm^2 までの圧粉体および電解銅粉Ⅰを 6 ton/cm^2 以上で加圧成形した圧粉体の場合と異なり、 500°C 以上の温度においても収縮することなく、温度の上昇とともに膨張する。その膨張量は成形圧力によって異なり、成形圧力の大きい圧粉体ほど大きい。

いま、電解銅粉Ⅰを、成形圧力 6 ton/cm^2 、焼結温度 900°C 、焼結時間 1 h で成形および焼結したものの加圧面表層部の断面を顕微鏡で観察した。図 3 に結果を示す。加圧面にふくれが生じ、表層部に空孔が生じている。これより、成形圧力 6 ton/cm^2 以上の圧粉体で加熱時にみられる再膨張は、焼結過程において生成する圧粉体表層部のふくれによるものであることが考えられる。これは、加圧成形時に圧粉体内にとじ込められたガスおよび粉体表面に吸着しているガスが、加熱初期においては圧粉体の連続気孔を通して圧粉体外へ放出されるが、収縮が始まる、すなわち焼結が始まる以上の温度においては、粉末相互の結合が表層部において内部よりも早く進行し、表面に開口する気孔が閉じられ、圧粉体の表面からガスが放出されなくなり、表層部に大きな空孔を生じ、これが温度上昇によってふくれあがり、焼結後も焼結体の表層部に「ふくれ」となって残留することによるものと考えられる。Duwez ら⁴⁾も銅粉を約 60000 psi (約 4.2 ton/cm^2) 以上の圧力で加圧成形した圧粉体を約 1600°F (約 870°C) で焼結した場合、上述のような膨張

図 4 ガス吸着物質を添加した銅圧粉体の加熱時の寸法変化

をみると、それは筆者と同じく焼結体表層部に生ずるふくれに起因するものであると推定している。上述の再膨張が、加熱時に放出するガスを吸着する物質を、銅圧粉体に添加することによって、除去できるかどうかについて吟味した。ガス吸着物質としては、気相状態でガスを吸着する分散ゲッタの一つであるマグネシウム、および固相状態でガスを吸着する接触ゲッタの一つであるチタニウムを用いた。その添加量はいずれの場合にも $0.6 \text{ wt. \%}$ である。なお、それと比較する目的で、 900°C までの温度では銅と相互に拡散あるいは反応を生じない炭化珪素を添加した圧粉体についても吟味した。図 4 に結果を示す。炭化珪素を添加した銅圧粉体は、銅圧粉体と同じように加熱温度の上昇とともに膨張→収縮→膨張の寸法変化を示す。しかし、マグネシウムおよびチタニウムを添加した圧粉体は、約 550°C までは加熱温度の上昇とともに膨張し、それ以上 900°C まで収縮し、再膨張することはない。また、マグネシウムおよびチタニウムを添加した銅焼結体の断面を顕微鏡で観察した結果、表層部に前述の空孔によるふくれはみとめられなかった。これより、成形圧力 6 ton/cm^2 以上の銅圧粉体を焼結するときに生ずる再膨張の原因となるガスは、マグネシウムおよびチタニウムのようなガス吸着作用のある金属粉末を添加することによって除去できることがわかる。

以上の実験結果より、銅粉を加圧成形した圧粉体の加熱時の寸法変化の状況は、銅粉の粒度および成形圧力によって異なり、成形圧力 4 ton/cm^2 以下の圧粉体では、加熱によって膨張→収縮の変化を示し、その収縮量は粒度の小さいものほど大きく、成形圧力 6 ton/cm^2 以上の圧粉体では、平均粒度の小さい電解銅粉Ⅰでは膨張→収縮→膨張の寸法変化を示し、平均粒度の大きい電解銅粉Ⅲでは膨張だけの寸法変化を示す。電解銅粉Ⅰでみられる再膨張は、圧粉体内のガスおよび粉体に吸着しているガスに起因するものであり、それはマグネシウムおよびチタニウムなどのガス吸着作用のある金属粉末を添加することによって除去できる。

3.2 各種金属粉末を添加した銅基圧粉体の寸法変化

上述の電解銅粉 I に種々の金属粉を添加し, それを圧力 6 ton/cm^2 で加圧成形した圧粉体が, 加熱によってどのような寸法変化を示すかについて吟味した. 実験に使用した添加金属粉は, 表 1 に示す 14 種で, その添加量は容量で 30% に一定とした. なお, 添加量として 30 vol. % を採用した理由は以後の実験で現象観察しやすいためである. 図 5 (a), (b), (c) に結果を示す. 同図 (a) は, 電解銅粉 I の圧粉体の寸法変化の状況と異なり, 温度の上昇とともに比較的急激に膨張するものの寸法変化を示し, Sn, Cd, Zn, Sb, Mg, Al, Si, Ti を添加した圧粉体にみられる. 同図 (b) は, 加熱初期においては温度の上昇につれてほぼ直線的に膨張し, ついで約 300°C 付近から温度の上昇とともに収縮し, $600^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ 付近で急激に収縮するものの寸法変化を示し, Bi, Pb, Ag を添加した圧粉体にみられる. 同図 (c) は, 電解銅粉 I の圧粉体の寸法変化とほぼ同様な寸法変

(a) 比較的急激な膨張を生ずる場合

(b) 急激な収縮を生ずる場合

(c) 銅圧粉体とほぼ同様な寸法変化を示す場合

図 5 銅-添加金属圧粉体の加熱時の寸法変化

表 2 銅-添加金属合金の最大固溶量⁷⁾⁸⁾

添加金属	添加金属の銅への最大固溶量 at. %	銅の添加金属への最大固溶量 at. %
焼結時に膨張効果を示す添加金属		
錫	9.3 (520°C)	0.5
カドミウム	1.5 (549°C)	0.6
亜鉛	38.5 (454°C)	2.5 (424°C)
アンチモン	6.0 (645°C)	probably small
マグネシウム	6.5 (722°C)	0.01
アルミニウム	20.5 (565°C)	2.5 (584°C)
珪素	11.5 (842°C)	<2
チタン	5.6 (885°C)	1.6 (800°C)
焼結時に収縮効果を示す添加金属		
蒼鉛	<0.001	very small
鉛	0.01~0.02	very small
銀	5.4 (779°C)	14.1 (779°C)
焼結時に寸法効果を示さない添加金属		
ニッケル	全域固溶	全域固溶
鉄		
タングステン		

化を示すものの寸法変化を示し, Ni, Fe, W を添加した圧粉体にみられる. そこで, 添加金属の種類による上述の寸法変化の差異を吟味する目的で, 添加金属の銅への最大固溶量および銅の添加金属への最大固溶量を表示すると, 表 2 のようである, これより, Sn, Cd, Zn, Sb, Mg, Al, Si, Ti のように, 銅圧粉体へ添加することによって, 加熱時にある温度で比較的急激に膨張するものについては, 添加金属の銅へ固溶する量が, 銅の添加金属へ固溶する量に比べて大きい. また, Bi, Pb, Ag のように, 銅圧粉体へ添加することによって加熱時に $600^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ 付近で急激に収縮するものについては, 添加金属の銅へ固溶する量が銅の添加金属へ固溶する量に比べて小さいか, あるいは相互に固溶する量がきわめて小さく, かつそれらの合金あるいは添加金属の融点が低い. また, Ni, Fe, W のように, 銅圧粉体へ添加することによっても, 銅圧粉体の寸法変化とほぼ同様な寸法変化を示すものについては, 添加金属の融点が銅に比べて高いか, あるいは Ni のように全域固溶する.

3.3 銅-アルミニウム圧粉体の寸法変化

加熱時に収縮することなく, 約 450°C で急激に膨張し, その後は温度上昇による寸法変化が小さいために, 上記温度における急激な膨張量を調整することによって焼結後の寸法精度を容易に調整しうる銅-アルミニウム圧粉体について, 加熱時の寸法変化の状況がアルミニウムの添加量, 成形圧力および加熱速度によってどのように異なるかについて吟味した.

図 6 に, 電解銅粉 I にアルミニウム粉を 1, 2.5, 5,

図 6 アルミニウム添加量による焼結時の寸法変化の影響

7.5, 10 wt. % 添加し、圧力 6 ton/cm^2 で加圧成形した銅-アルミニウム圧粉体の加熱時の寸法変化を示す。加熱開始後約 450°C までは、いずれも温度の上昇とともに直線的に膨張し、膨張係数は約 $1.0 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ で、銅圧粉体のそれにほぼ等しい。約 450°C に達すると、アルミニウム添加量 1, 2.5, 5% の圧粉体では、温度の上昇とともに膨張の割合は増大し、約 600°C に達するとほぼ一定となる。また、この膨張の割合はアルミニウム添加量の大きい圧粉体ほど大きい。アルミニウム添加量が 7.5% 以上の圧粉体では、約 450°C に達すると膨張の割合が急激に増大し、約 490°C から約 500°C の間で直線的に急激に膨張する。その後わずかに収縮し、ついで徐々に膨張する。上述の約 450°C から約 500°C の間で生ずる急激な膨張の割合は、アルミニウム添加量 7.5% および 10% の圧粉体とも同一であるが、膨張量はアルミニウム添加量の大きい圧粉体ほど大きい。このアルミニウム添加量 7.5% および 10% の圧粉体にみられる約 490°C から約 500°C の間で急激に膨張した後、わずかに収縮し、ついでふたたび徐々に膨張する特異な現象を筆者は“過膨張”と称する。この過膨張が添加量だけでなく、成形圧力および加熱速度に依存する現象かどうかについて吟味した。

図 7 に、電解銅粉 I にアルミニウム粉を 10 wt. % 添加し、圧力 2, 4, 6, 8, 10 ton/cm^2 で加圧成形した銅-アルミニウム圧粉体の加熱時の寸法変化を示す。加熱開始後約 450°C までは、加熱温度に比例して膨張し、約 450°C に達すると温度の上昇とともに膨張の割合は徐々に増大する。成形圧力 2 ton/cm^2 の圧粉体では、約 600°C で膨張の割合がほぼ一定となる。しかし、成形圧力 4 ton/cm^2 以上の圧粉体では、約 490°C になると直線的に急激な膨張を生じ、約 500°C で膨張が停止した後

図 7 成形圧力による焼結時の寸法変化の影響

図 8 加熱速度による焼結時の寸法変化の影響

ずかに収縮し、ふたたび温度の上昇とともに徐々に膨張する。すなわち、前述の過膨張現象がみられる。

つぎに、焼結のようにその過程で拡散をとまなうものは、加熱速度によって焼結の状況が異なると考えられるので、加熱速度によって過膨張現象が生ずるかどうかについて吟味した。図 8 に、電解銅 I にアルミニウム粉を 10 wt. % 添加し、圧力 6 ton/cm^2 で加圧成形した銅-アルミニウム圧粉体を、1, 2, 4, 8, 16 $^\circ\text{C/min}$ の速度で加熱したときの加熱時の寸法変化を示す。これより膨張の割合が増大する温度は、加熱速度によって異なり、加熱速度 1°C/min でもっとも低く約 380°C であり、加熱速度 16°C/min でもっとも高く約 460°C であり、加熱速度が大きいほど膨張の割合が増大する温度は高くなることがわかる。また、膨張量は加熱速度が大きいほど小さい。そして、加熱速度の大きい 4, 8, 16°C/min では、前述の過膨張現象がみられる。

加熱速度によって膨張開始温度および膨張量が異なることは、温度測定上の問題としてでも考えられるが、筆者は加熱速度によって膨張完了時の膨張量が異なることにより、加熱速度によって膨張完了時の拡散状況が異なると判断され、これにより膨張中の温度での拡散状況が加熱速度によって著しく異なるためであると考えられる。

銅-アルミニウム圧粉体の寸法変化の状況は、アルミニウム添加量および成形圧力によって異なる。そこで、加熱温度 900°C における寸法変化が、圧粉体密度比 (圧粉体密度/真密度) によってどのように異なるかを、アルミニウム添加量 1, 5, 7.5, 10 wt. % について測定し

図 9 加熱温度 900°C での銅-アルミニウム圧粉体の寸法変化

た、図9に結果を示す。同一成形圧力でもアルミニウム添加量によって圧粉体密度は異なるので、成形圧力の代わりに圧粉体密度比を横軸に表示した。いずれの添加量の銅-アルミニウム圧粉体においても、900°Cにおける寸法変化は圧粉体密度比の増加とともに、ほぼ直線的に増大し、増大の割合はアルミニウム添加量の大きいほどわずかに大きい。

4. 結 論

以上の実験結果より、銅圧粉体および銅基圧粉体の加熱時の寸法変化についてつぎのことがわかった。

(1) 銅圧粉体の焼結時の加熱にともなう寸法変化の状況は、加熱開始後約 300°C までは銅粉の平均粒径および成形圧力による差異はみられないが、それ以上の温度において異なり、成形圧力 4 ton/cm² 以下の圧粉体では、いずれの平均粒径のものでも温度の上昇とともに収縮し、成形圧力 6 ton/cm² 以上の圧粉体では、平均粒径の小さいものでは収縮した後ふたたび膨張し、平均粒径の大きいものでは収縮することなく膨張する。

(2) 上述の再膨張は、加圧成形時に圧粉体内にとじ込められたガスおよび粉体表面に吸着しているガスにより生ずる焼結体表層部のふくれによるものである。そのふくれはマグネシウムおよびチタニウムのようなガスを吸着することができる金属粉を添加することによって消去することができ、それにより再膨張を阻止できる。

(3) 銅粉に異種の金属粉を添加した圧粉体の、焼結時

の寸法変化は、添加金属の種類によって異なり、添加金属の銅へ固溶する量が、銅の添加金属へ固溶する量に比べて著しく大きい Sn, Cd, Zn, Sb, Mg, Al, Si, Ti 粉末を添加した圧粉体は焼結時に膨張し、銅の添加金属へ固溶する量が、添加金属の銅へ固溶する量に比べて大きい、あるいは相互に固溶する量がきわめて小さい Bi, Pb, Ag 粉末を添加した圧粉体は焼結時に収縮し、添加金属の融点が銅に比べて高いか、あるいは全域固溶する Ni, Fe, W 粉末を添加した圧粉体は銅圧粉体の寸法変化とはほぼ同様な寸法変化を示す。

(4) 銅-アルミニウム圧粉体は約 490°C から約 500°C で急激に膨張し、その膨張量はアルミニウム添加量が多いほど、成形圧力が大きいほど、かつ加熱速度が小さいほど大きい。

文 献

- 1) W.V. Knopp: Precision Metal Molding, 9 (1960) 55.
- 2) R.S. Jamison, E. Geijer: Progress in Powder Metallurgy, 16 (1960) 19.
- 3) 藤井康次: 粉体および粉末冶金, 11-5 (1964) 223.
- 4) P. Duwez, H. Martens: Transactions of AIME, 185 (1949-9) 571.
- 5) 三谷裕康, 庄司啓一郎: 粉体および粉末冶金, 12-4 (1965) 152.
- 6) 日本金属学会編, 金属便覧, 1960, 丸善.
- 7) C.J. Smithells: Metals Reference Book, 1949.
- 8) G.V. Raynor: The Structure of Metals and Alloys, 1954.

情 報

第 12 回科学技術功労者表彰

科学技術庁はこのほど第 12 回科学技術功労者表彰を行なった。受賞の業績ならびに受賞者はつぎのとおり。

すぐれた国産技術の開発に貢献した研究者または発明者

▽食品自動成形装置の開発 林 虎彦 (レオン自動機代表取締役)

▽日本脳炎ワクチン精製法の開発 中村稔治 (日本生物科学研究所長)

▽キシレン分離技術の開発 五十嵐之雄 (日本瓦斯化学工業平塚研究所長) 上野 保 (同第3研究室長) 中野隆史 (同技術部技術課長代理)

▽貸車停車場自動化設備の開発 印南卓一 (株木建設常務) 東 昭 (国鉄鉄道技術研究所自動制御研究室主任研究員) 原田 実 (同停車場研究室主任研究員) 嶋村和也 (三菱電機鎌倉製作所計算機システム技術部第1システム課長)

▽V/STOL用リフトジェットエンジンの開発 松本正勝 (科学技術庁航空宇宙技術研究所原動機部長) 鳥崎忠雄 (同原動機部原動機生能研究室長) 宮沢清人 (石川島播磨重工業航空エンジン事業部技術部開発室長)

▽液体噴霧法による金属粉末製造技術の開発 田村皖司 (科学技術庁金属材料技術研究所製造冶金研究部粉末冶金研究室長)

▽大型電子計算機の開発 池田敏雄 (富士通情報処理技術部長) 桜井正夫 (同情報処理技術部次長) 山本卓真 (同ソフトウェア技術部次長) 三輪 修 (同ハードウェア技術部第一設計課)

▽電子写真卦書法の開発 杉 一郎 (富士写真フィルム嘱託) 杳木幹雄 (三菱重工取締役神戸造船所長) 池上吉蔵 (甲南カメラ研究所取締役開発部長)

▽けい光文字表示用電子管の開発 大久保昌男 (日本電子材料代表取締役) 中村 正 (伊勢電子工業代表取締役)

(43頁へつづく)