受賞記念講演

スイッチングトランス用低損失フェライトの開発*

奥 谷 克 伸**

Katsunobu Okutani: Development of the Low Power Loss Ferrite for Switching Power Supply.

Relationships between magnetic properties and composition, raw materials, additives, sintering profiles and production process for Mn-Zn ferrite were investigated. The adequate selection of raw materials and processing parameters is a key of the control of microstructure and electromagnetic property. A new production method of ferrite raw material by spray roasting was developed. This method has some advantages such as high purity, low cost and simple process.

Mn-Zn ferrite with superior performance for power applications was obtained by this method.

(Received November 25, 1986)

I はじめに

電源トランスは交流電源の電圧を変える装置であり、電子機器にとって重要な部品である。電源の小形化、薄形化、高性能化を図るには、良質の磁心材料が必要である。磁心材料としては、ケイ素鋼板に代表される金属磁性材料とフェライトに代表される酸化物磁性材料がある。ケイ素鋼板は固有抵抗が小さいので、高周波帯域では損失が非常に大きくなる。このため、低周波帯域における磁心材料として大量に使用されている¹⁾。一方、フェライトは固有抵抗が大きいため、高周波帯域における磁心材料として利用されている。スイッチング電源へのフェライトの応用は10年程前から始まった比較的新しい応用である。コンピュータおよびその端末装置、事務機器などでは、小形、軽量、省エネルギー型の直流電源を必要としており、これに対応できるスイッチング方式の直流安定化電源が急速に普及してきた。スイッチング電源に使用されているコイル類としては、直接電力変換に関与するメイントランス、入力フィルター用チョークコイル、出力平滑用チョークコイルがある。また、パルス信号を伝送する信号用パルストランス、電流検出用トランスなどがある。スイッチング電源の小形化および軽量化にあたっては、大きなスペースおよび重量を占めるメイントランス、とりわけトランスを構成する磁心の小形化が最も重要である。本稿ではメイントランス用フェライト材料に要求される特性、高性能特性を発現させる材料技術および製造方法について述べる。

II メイントランス用フェライト材料への要求特性

ソフトフェライトの代表的な特性として、初透磁率、

相対損失係数、飽和磁束密度、キュリー温度などがあげられる。一般的には、初透磁率、飽和磁束密度、キュリー温度は高く、相対損失係数は低いほど望ましいとされる。しかし、これらの要求総てを同時に満足させることはできないので、コイル・トランス用、電源用、ヘッド用、偏向ヨーク用、各種センサ用など、各種の用途ごとに最適のフェライト材料が生産されている。メイントランスに用いられるフェライトは比較的強い磁界中で動作するので、一般の用途に比べて磁気損失が著しく増大するところに最大の問題がある。この磁気損失を高周波電力損失あるいはパワーロスと呼び、これを低減するために開発された一群のフェライトをパワーフェライト²⁾と呼ぶことがある。ここでは、メイントランス用フェライト材料に要求される特性について簡単に述べる。

一般に、トランスを正弦波で駆動すると、磁束密度 B は次のように表される³⁾。

$$B = (E_{in} / 4.44 \cdot N_p \cdot A \cdot f) \times 10^7 \text{ [mT]} \quad (1)$$

E_{in} : 1次側印加電圧 [V]

N_p : 1次側巻線数 [T]

A : 磁心断面積 [cm²]

f : 周波数 [kHz]

したがって、 f を高くすれば B は小さくて済むことになるので、フェライトの B が低いという弱点はこれによって補われることになる。また、 B を一定にするならば、高周波化によって $N_p \cdot A$ の値を小さくすることもできるので、トランスを小形化することが可能になる。

* 第24回(昭和60年度)技術功績賞受賞, 4th Intnl. Conf. Ferrite (1984), 昭和61年11月本協会秋季大会にて発表, 昭和61年11月25日受理。

** TDK(株)フェライト研究部, 〒272 市川市東大和田2-15-7.

Fig. 1 Sequential change of switching frequency and miniaturization of switching power supply.

Fig. 1 はスイッチング電源の中で最も一般的なフォワードコンバータ方式を例にとり、高周波化および小形化の推移を示したものである。フォワードコンバータ方式では、トランスは片側パルスによって駆動されることになるので、磁心の動作は Fig. 2 の矢印で示したマイナーループ (B_r を基点に B_m に至る) をたどることになる。そこで、大きい ΔH に対しても磁束の応答が十分にできて、良好な電圧制御が行われるためには、 ΔB の大きい磁心材料、つまり B_m が大きくて B_r が小さい材料が望ましいことになる。

トランスの損失は Fig. 3 の巻線中を流れる電流によって発生するジュール熱（銅損）と磁心の磁化に伴って発生する熱（鉄損）の和である。したがって、磁心材料は高透磁率かつ低損失であることが望まれる。比較的大きい磁界中における鉄損の表現方法として、パワーロス (P_L , 磁化に伴って発生する電力損失) が用いられる。パワーロスは f および B によって変化し、次式で表される³⁾。

$$P_L = P_h + P_e = (K_h \cdot f + K_e \cdot f^2) \cdot B^n \cdot V_e \quad (2)$$

P_L : パワーロス

P_h : ヒステリシス損失

P_e : 渦電流損失

K_h : ヒステリシス損失定数

K_e : 渦電流損失定数

$$\frac{S_1}{S_1 + S_2} \doteq 0.4$$

Fig. 2 BH-LOOP for typical converter.

P_{cu} : COPPER LOSS

P_L : POWER LOSS OF THE CORE

Fig. 3 Components of transformer loss.

n : 定数 (100~1000 kHz では2.0~2.6である)

V_e : 磁心の実効体積

P_L の周波数特性例を Fig. 4 に示す。試料 A は代表的な損失特性を表しており、100 kHz 以下では P_L はほぼ f

Fig. 4 Power loss-frequency curves of Mn-Zn ferrites.

に比例して増加するが、高周波では f^2 に比例して急増の傾向を示す。これは、低周波では f に比例するヒステリシス損失成分が支配的であり、高周波では f^2 に比例する渦電流損失成分が支配的になるためと解釈されている。固有抵抗を大きくした試料 B では損失が急増するところが高周波側へ移動しているの、高周波では試料 A よりも低損失を示す。高周波化を実現するには、高抵抗のフェライト材料が必要である。

トランスを駆動させると銅損、鉄損によって、トランス全体が昇温する。もし、パワーロスの温度特性が正の大きな値であるならば、磁心は急速な温度上昇(熱暴走)を起こして、ついにはトランスの機能を喪失する。これを防止するには、パワーロスの温度特性を負にして、トランスの温度上昇を一定値にとどめることが必要になる。電源の小形化に伴って使用条件も過酷になってきたので、100°C 近傍迄負の温度特性にした低損失材が求められている。

Ⅲ メイントランス用低損失フェライトの材料技術

メイントランス用フェライト材料には主として Mn-Zn 系フェライトが用いられている。この系はソフトフェライトの中でも固有抵抗が低い材料系であり、高周波帯域での磁気特性を改善するために、さまざまな材料技術が活用されている。そこで、Mn-Zn 系フェライトの特性改善に関する基本的なことからについて概説した後、メイントランス用フェライトの材料技術に触れることにする。フェライトの磁気特性のうち、飽和磁束密度、キ

Fig. 5 Magnetic properties of the Mn-Zn ferrites represented in the miscibility diagram.

ュリー温度およびパワーロスが最小になる温度などは主として化学組成に依存している。一方、透磁率、残留磁束密度、保磁力、パワーロスなどは化学組成の影響も受けるが、微細構造によって支配される特性であるといえる。Mn-Zn 系フェライトの化学組成と特性の関係を Fig. 5 に示す。飽和磁束密度は測定温度と焼結密度の影響を受けるが、室温での最大値は Fe-Zn フェライトで得られる。キュリー温度は磁性イオン間の超交換相互作用の強さに依存するので、非磁性イオン (Zn^{2+}) の増量につれて低下する。高透磁率材料の透磁率は大部分磁壁移動によってもたらされる。したがって、結晶磁気異方性と磁歪が同時に小さくなるような組成を選び、結晶粒子を大きくして磁壁の数を増加させるとともに、磁壁を動き易くするような微細構造を付与することが高透磁率発現にとって重要になる。透磁率は定性的に次式によって表現される⁴⁾。

$$\mu \propto \frac{M_s^2}{aK + b\lambda\sigma} \quad (3)$$

M_s : 飽和磁束密度

K : 結晶磁気異方性定数

λ : 磁歪定数

σ : 応力

a, b : 定数

Mn-Zn 系フェライトは一般に結晶磁気異方性が小さいので、透磁率の温度特性が特異な挙動を示す。Fig. 6 に示すように、室温近傍に極大(通常、第2極大と呼ばれている)が現れるが、これは(3)式の K がこの温度において零になることから生じるとされている。この極大の出現する温度は Fe_2O_3 や ZnO の増加に伴って低温へ移動する。また、 CoO などの不純物によっても変化する。極大値の大きさは主として微細構造によって決定される。損失は一般に第2極大近傍において最小になる。この点

Fig. 6 Permeability-temperature curves of Mn-Zn ferrites.

では磁壁移動が最も容易であると同時に、各種の緩和現象に起因する損失もまた少ないためである。これらの関係をもとにして、各種の用途に適した組成領域を選定すると、Fig. 5 に示した領域 A は高透磁率材に、領域 B は低損失材に、領域 C はトランス材料に適すと言える⁶⁾。

同一化学組成であるにもかかわらず、磁気特性に大きな差が現れることがある。これは焼結体の微細構造の相違に由来するものである。例えば、同一化学組成の材料を、平均結晶直径だけが異なるように焼成すると、初透磁率は次式を満たすことが多い⁶⁾。

$$\mu = k \cdot \bar{d}$$

$\bar{d}$: 平均結晶直径 [μm]

k : 定数

通常 k は500程度であるが、結晶粒子が不揃いであったり、結晶粒子内に気孔や欠陥が多数含まれている場合 k が100程度になることもある。このような基本的関係によれば、使用目的に合致する化学組成を選び、微細構造を精密に制御することが高性能フェライト製造の必要条件であることが理解される。一般に高透磁率と低損失特

性を同時に実現することは、材料技術的に難しい課題であった。

Mn-Zn 系フェライトの固有抵抗を大きくする材料技術として、

- (1) 結晶粒界に高抵抗化合物を偏析させて結晶粒子間を絶縁する
- (2) 結晶粒子径を小さくして、粒界の量を増加する
- (3) 粒界を選択的に酸化して高抵抗化する
- (4) 結晶粒を構成する主成分の一部を他元素で置換して結晶粒子自体を高抵抗化する

ことが実用化されている。このうち、(1), (2), (3)は一般的に用いられる。(4)は特に高い周波数帯向けの材料に応用される技術である。いずれの手法を採用するにしても、高抵抗化に伴って透磁率が低下するので最適条件を選定することが重要になる。

高透磁率かつ低損失特性を発現する微細構造を形成する上で、材料粉体の化学的および物理的特性が非常に重要である。各種のフェライト材料製造法が開発された理由もここにある。材料粉体中に含まれている微量成分は焼結に顕著な影響を及ぼし、微細構造を変化させる。Table 1 は Mn-Zn 系フェライトに対する微量成分の作用効果をまとめたものである。第1群は複合酸化物として粒界に高濃度に偏析する傾向がある。粒界が高抵抗化されるので、高周波での磁気特性が改善される⁷⁾。また、高密度の焼結体にする上でも効果があるので、ほとんどのフェライト材料で用いられる。第2群の化合物は比較的低温で液相を発生し、フェライト成分の物質移動を促進させる。焼成温度を下げたり、結晶粒子を大きく成長させたいときに用いられる。第3群は第2群とは反対に高融点化合物であって、粒成長を抑制する効果がある。結晶粒子を小さくしたい場合にこれらを用いることがある。第4群は極めて微量であっても焼結特性を激変させる成分である。フェライト主成分と反応して液相を形成するので焼結を加速する。結晶成長速度が大きくなり過

Table 1 Classification of additives.

Group	Typical additives	Effect	Remarks
1	CaO, SiO ₂	Increase resistivity and density	Usually add
2	V ₂ O ₅ , Bi ₂ O ₃ , In ₂ O ₃	Accelerate grain growth	For high μ materials
3	Ta ₂ O ₅ , ZrO ₂	Suppress grain growth	For low loss materials
4	B ₂ O ₃	Cause discontinuous grain growth	Tolerance is less than 50 ppm
5	MoO ₃ , Na ₂ O	Suppress the 4th group's effect	Depend on 4th group impurity
6	SnO ₂ , TiO ₂ , Cr ₂ O ₃ , CoO, Al ₂ O ₃ , MgO, NiO, CuO	Dissolve in spinel lattice	B, Tc and temperature coefficient are controlled

きて、不均質な微細構造 (Duplex 構造) を形成し、磁気特性を劣化させる。したがって第 4 群は材料中に含まれていないことが望ましい。第 5 群は第 4 群の効果を抑制する作用がある。これは、第 5 群の化合物が第 4 群の化合物と選択的に結合するか、あるいは第 4 群の作用を妨害するような化合物を形成することによるものと解釈されている。したがって、第 5 群の添加効果は複雑である。第 6 群はスピネル格子中に固溶できる成分であり、その種類と量に応じて磁気特性が変化する。結晶磁気異方性に顕著な影響を及ぼす CoO は効果的に用いられる⁹⁾。

均質な焼結体を製造するには、微細で均質な材料を用いることが大切である。微量成分は必要最小量を高度に分散させておくことが望ましい。微量成分の最適量は結晶粒子サイズによって変化する。一般に、結晶粒子サイズを大きくする高透磁率材では許容量が少なく、逆に結晶粒子サイズの小さい低損失材では多い。メイントランス用フェライトは両者の中間にある。材料中に含まれている微量成分が同一であっても、焼成条件によって、微量成分の偏析状態は変化する。材料、焼成条件ならびに微細構造の関係は複雑であり、これを体系化して示すことは難しい。しかしあえて、これを単純化してみると次のようになる。一般に昇温速度が小さいほどセラミックスは高密度化するとされているが、 Mn-Zn 系フェライトではこれとは反対の結果が得られている。代表的な 2 種類の焼成プログラムと、その粒成長をモデル化して示すと Fig. 7, Fig. 8 のようになる⁹⁾。焼成プログラムの主たる相違点は 950°C ~ 1100°C 間の昇温速度である。この温度帯域で材料の緻密化が起こるのであるが、その速さによって、空孔や微量成分の分布状態が変わり、以降の焼結反応に著しい影響を及ぼす。焼結速度が速い (昇温速度、雰囲気条件、材料特性なども含めて、急激な粒

成長が起こる) Fig. 7 の場合には、結晶粒内に気孔や不純物を取り込まれ、粒界への偏析量が減少する。したがって、結晶粒子の会合が起こり易く、最終的には、大きい結晶粒子迄成長することが多い。このような焼結体は一般に高透磁率は得られるものの、固有抵抗が小さいので損失が大きくなる。これに対して、焼結速度が遅い Fig. 8 の場合には、気孔や不純物は粒内に取り込まれず、大部分粒界に残存する。結晶粒成長と空孔成長が顕著であるが、結晶粒子の会合が殆んど起こらず、最終焼結体の結晶粒径は Fig. 7 の場合よりも小さい。焼結速度が遅いほど焼結密度が低くなるのは空孔成長が顕著なためである。この焼結体は粒界の固有抵抗が大きいので低損失特性が得られる。これらの結果をまとめると材料、焼成条件ならびに微細構造の関係は Fig. 9 のようにモデル化される。ここで採用した焼成プログラムは極端な例であり、実用のプログラムは両者の中間に設定されることが多い。目的とする磁気特性を発現させるには、材料の純度は勿論のこと、使用する添加物の種類と量、焼成プログラムを適切に組み合わせなければならない。

ヒステリシス損失は残留磁束密度 B_r を小さくしてヒステリシスループの面積を縮小することによって実現される。したがって、均質な結晶組織であって、しかも焼結体に応力が発生しないよう、焼成条件の制御を入念に行う必要がある。

スイッチングトランス用低損失フェライトを製造するには、Fig. 5 の領域 C を基本組成として選択することによって、比較的高いキュリー温度と透磁率の正温度特性および損失の負温度特性を付与するのがよい。更に原料粉体の物性、微量添加物の制御は勿論のこと、焼成条件を適正に制御して、焼結体の微細構造を高透磁率、低損失特性に適したものにすることが重要である。望まし

Fig. 7 The sintering profile and microstructure of rapid grain growth.

Fig. 8 The sintering profile and microstructure of mild grain growth.

い微細構造の特徴を列挙すると次のようになる¹⁰⁾

- (1) 結晶粒子の内部は高純度で欠陥が無く、高透磁率である。
- (2) 結晶粒子間の組成分布が狭い。
- (3) 結晶粒子は比較的小さく、かつ均一である。

- (4) 結晶粒界は薄く、かつ高抵抗の不純物が集積している。

- (5) 気孔が少なく、結晶粒界にのみ存在する。

このような微細構造を持つフェライトの製造方法について次に述べる。

	Mild grain growth	Rapid grain growth	
Less additives ↑ Hightemperature sintering	 $\mu = 10000$	 $\mu = 18000$	High μ Low Q
	 $\mu = 4000$	 $\mu = 7500$	
More additives ↓ Lowtemperature sintering	 $\mu = 1000$	 $\mu = 1800$	Low μ High Q
	Thick boundary High resistivity	Thin boundary Low resistivity	

Fig. 9 Microstructure, initial permeability and apparent resistivity of Mn-Zn ferrites.

IV メイントランス用低損失フェライトの製造方法

フェライトの生産方法には各種あるが、代表的なものを Fig. 10 に示す。主として材料の製法に違いがある。工業規模での生産は大部分乾式法によって行われている。メイントランス用低損失フェライトを製造する上で、特に材料と焼成とが重要なので、ここではこの2点を中心にして述べる。

一般に、焼結に供される粉体は微細かつ均一な粒子から成り、しかも高純度なフェライト材料粉体の間に適量の添加物が均一に分散していることが望まれる。乾式法では原料酸化物あるいは炭酸塩を混合、仮焼および粉碎することによって材料粉体を調整している。所望の焼結特性を得るために、主として原料の選択と仮焼条件ならびに粉碎条件が吟味される。しかしながら、本法で得られる材料粉体の化学的性質は使用する原料の化学的性質と粉碎工程での不純物混入によってほぼ決定される。原料純度が適正でないか、あるいは製造工程中での汚染が許容上限を越えた場合、高性能特性は得られない。Fig. 11 は不純物含有量の異なる2種類の原料系について、乾式法での製造条件を変えた時に得られた結晶組織と損失

(パワーロス) の関係を示したものである¹⁰⁾。原料Aを用いると不純物量が比較的多いフェライト材料が製造される。このような材料を用いてフェライトを製造すると結晶粒子が大きく、しかも不揃いになる。このような組織のフェライトはパワーロスが大きい。一方、高純度原料Bを用いると結晶が微細で均一なフェライトが得られ、パワーロスが小さい。製造条件の変更によって若干の改善は認められるものの、その効果は乏しい。乾式法によってフェライト材料を製造する場合、製造工程での不純物混入によって SiO_2 などが許容上限を越えることがある。したがって、高性能フェライトを製造するには、高純度の原料を使用することが不可欠である。しかし高価格であるため、その使用が制限されることが多い。高純度であって、しかも工程汚染が少なく、比較的低コストの材料製造方法として噴霧熱分解法¹¹⁾を研究した。 FeCl_2 と MnCl_2 混合水溶液を噴霧熱分解すると、 Fe_2O_3 と Mn_2O_3 の固溶体微粒子がゆるく結合した Fig. 12 のような凝集粒子が得られる。フェライトの主要成分である Zn はこの段階では含まれていない。 ZnCl_2 は熱分解の過程で蒸発してしまい ZnO として残留しないので、出発原液には入れていないためである。Fig. 12 の粉体

Fig. 10 Typical production process of soft ferrites.

Fig. 11 Effects of source and process on the microstructure and power loss of final products.

Fig. 12 SEM's of spray roasted particles.

Fig. 13 Typical firing program for high performance Mn-Zn ferrites.

に所定の ZnO を混合し、適切な微量添加物を加えた後解砕すると材料ができあがる。仮焼成は省略でき、解砕に伴う汚染は極めて少ない。このような方法で製造した

Fig. 14 Auger analysis of the fracture surface of three kinds of Mn-Zn ferrites (Ca Distribution).

Fig. 15 Power loss-temperature curves.

材料を Fig. 13 のようなプログラムで焼成すると結晶粒子が小さく揃った焼結体を得られる。粒界近傍における微量成分の分布状態についてはデータが充分でないが、Fig. 14 に一例を示す。これはフェライト焼結体の破面についてのオージェ分析の結果を示したものである。通常、高透磁率材は結晶粒界の不純物量が少なく、かつ薄い。これに対して、トランス用低損失材の場合は結晶粒界が厚い。しかしながら、粉体材料と焼成条件を適正に組み合わせると、粒界層が薄く、かつ粒界における不純物濃度が高くなり、低損失特性が得られることが明らかになった。Fig. 15 に材料製法および焼成条件を充分吟味して得られた低損失フェライトの特性例を示す。

V おわりに

スイッチングトランス用低損失フェライトを製造する

には、材料粉体の高純度化、均質化が非常に重要であると考えられた。これを工業規模で実現する方式として、噴霧熱分解法を研究した。その結果、良好な微細構造を持つ低損失フェライトが得られることが明らかになった。本法は比較的低コストの出発原料を用いてフェライト材料を製造する新しい試みであり、今後の発展が期待される。

最後に、今回はからずも当協会の技術功績賞をいただく光栄によくし、協会の関係各位に厚く御礼申し上げます。また、本研究を行うにあたり、多くの方々の御助言、御協力を載しました。ここに厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 中田：電子技術，**4** [6] (1962)，143.
- 2) 岡本，野村，落合：エレクトロニク・セラミックス，'85 冬号，(1985)，41.
- 3) 北川，今泉，三井：日本応用磁気学会第37回研究会(1984).
- 4) 坂東：化学と工業，**37** [12]，(1984)，813.
- 5) S. Krupicka：J. Magn. Magn. Mat.，**19** (1980)，88.
- 6) E. Röss, I. Hanke and E. Moser：Zeit. Angew. phys.，**17** [7] (1964)，504.
- 7) 明石：応用物理，**30** (1961)，708.
- 8) D. Stoppels, L. A. H. van Hoof and P. G. T. Boonen：J. Magn. Magn. Mat.，**37** (1983)，131.
- 9) 茂呂，落合：工業材料，**32** [3] (1984)，118.
- 10) Ochiai and Okutani：4th Intl. Conf. Ferrite (1984).
- 11) M. J. Ruthner：FERRITES, Proc. Intl. Conf.，(1980)，64.

新 入 正 会 員

(昭和62年2月13日現在)

氏 名	卒業学校	卒業 年次	会 員 番 号	専 門	動 務 先	現 住 所
櫻部 恒明	九州工業大	35	111062	鉄 冶 金	930 富山市下新日曹町1-93 大平洋製鋼(株)富山製造所 0764(32)4175	939-27 富山県婦負郡婦中町 ねむの木2-48 0764(65)6188
車 光胤	ソウル工科大	1977	132007	金 属	105 港区虎ノ門1-2-6 清水ビル4階 (株)オーシャントレーディング 03(503)6841	111 台東区寿3-16-7 ホワイトレジデンス405 03(845)3069
星 健	早稲田大	56	155017		102 千代田区麹町5-7 秀和紀尾井町TBR1108 ジャパン メディア(株) 03(262)9481	181 三鷹市上連雀1-5-14 0422(55)1429
坂間 良通	東京理科大		121050	材料化学	430 浜松市砂山町324-8 第一伊藤ビル4階 ミネベアエレクトロニクス(株) 0534(54)6011	432 静岡県浜名郡可美村高塚 499-1 コーポスプレnder105
森山 康	九州大	33	165014	冶 金	804 北九州市戸畑区大字中原先ノ 浜46-59 日本鋳鍛鋼(株) 093(882)1881	806 北九州市八幡西区紅梅 2-10-1 093(642)8124
阿部 力	北海道大	46	101045	金属材料	251 藤沢市鶴沼神明1-5-50 日本精工(株)材料技術研究所 0466(26)1111	251 藤沢市大庭4589 湘南ライフタウン城山団地 6-104 0466(88)2546
伊藤 薫	川崎工業高	36	102086	焼 結	211 川崎市中原区井田1618 新日本製鉄(株)第一技術研究所 044(777)4111	227 横浜市緑区鴨志田町 816-26 045(961)3474
衣笠 雅普	広島大	33	112041	冶 金	746 新南陽市大字富田4976 日新製鋼(株)周南研究所 0834(63)0111	745-06 山口県熊手郡熊毛町大 字呼坂1100-128 0833(91)5875
花房 三郎	愛媛大	34	151043	粉末冶金	366 深谷市大字上野台字割塚 1400-10 三矢精工(株)	330 大宮市内野本郷428-6 0486(24)2433
藤原 弘	横浜市立大	36	153030		105 港区芝大門1-13-9 昭和電工(株)総務部 03(432)5111	158 世田谷区東玉川11-27-4 03(729)9054
麻草 春海	京都大	36	161052	金属加工	934 新湊市奈呉の江8 住友化学工業(株)高槻研究所 金属 材料研究室 0766(82)3700	
藤田 達生	東北大	51	153031	金属材料	945 柏崎市北斗町1-37 (株)リケン柏崎事業所 AL合金チー ム 0257(23)9855	945 柏崎市栄町17-17-104 0257(23)7870
城戸 義之	関西大	39	112042	超硬工具 金属工学	663 西宮市今津山中町12-16 (株)共立合金製作所 0798(26)3606	652 神戸市兵庫区湊町1-2-2 078(681)0739