

射出成形による立体回路形成のための 高導電性プラスチックの開発

Development of Highly Conductive Polymer Composite
for 3D Wiring Circuit by Injection Molding

野口裕之*・中川威雄*

Hiroyuki NOGUCHI and Takeo NAKAGAWA

1. 導電性プラスチック

プラスチックはもともと電気の良い絶縁材料であり、導電性がないため、静電気を帯びたり電磁波を通してしまう性質をもっている。最近のように、電磁波による電子機器の誤作動が問題となってくると、これらの機器に使用するプラスチックに導電性をもたせ、静電気を逃したり電磁波をシールドする必要が生じている。

プラスチックに導電性を付与するためには、導電性をもった材料をプラスチックと混ぜ合わせるのが一般的であるが、混入する導電材料のことを導電フィラーと呼ぶ。高い導電性を得るためには、導電フィラーに銅やステンレスなどの、金属短繊維を混入したものが多く用いられている。しかし、このような導電性プラスチックは電磁波シールド材としては十分であっても、電気を通す導電性プラスチック材としては不十分であった。つまり導電性をより向上させるために、混入する繊維を長くしたり繊維量を多くすると、射出成形時にノズル詰まりなどを起こしやすく、成形自体も困難となる。これまで開発されている導電性プラスチックでは、電線のように細くて長い形状に、射出成形することはむずかしく、また抵抗もやや大きいため電気を流すと発熱を起こすなどの問題点がある¹⁾。

これらの問題を解決するために筆者らは以前より導電フィラーとして、Sn-Pb系のハンダを樹脂中に溶融状態で混入した、新しいタイプの導電性プラスチックの開発に取り組んできた²⁾。この導電性プラスチックの特徴は、射出成形時はハンダが半溶融しており、液体状態であるため、成形性が極めて良好であるため、細長い形状に射出成形が可能である。さらに、樹脂中に分散されたハンダが、お互いに連結していることにより、極めて高い導電性を得ることができる特徴をもっている。

*東京大学生産技術研究所 第2部

2. 射出成形による立体回路の形成

極めて高い導電性を有するプラスチックが開発されれば、この導電性プラスチックを射出成形することにより、導電回路が形成できる。この方法が確立されれば現在のプリント基板を用いない回路形成が可能となる。

このようなプラスチックの射出成形による回路形成法の利点は、

- ①回路形状が3次元的な立体形状の形成が可能
- ②自由な回路の幅や深さの選択が可能
- ③部品と回路との一体成形が可能
- ④ドライプロセスの回路製作が可能
- ⑤大量生産が可能

一方導電性プラスチックの射出成形による回路形成法の欠点は、

- ①回路の体積固有抵抗が大きい
 - ②微細な回路形状には不向き
 - ③回路の強度が低い
 - ④回路の比重が大きい
- などがあげられる。

3. 実 験

本研究では、このハンダ分散型導電性プラスチックにおいて、ハンダを樹脂中に分散させるための条件として、ハンダ成分の影響と、混入するハンダ量と導電性の関係に関して調査を行った³⁾。

3-1 供試材料

樹脂マトリックスには、樹脂の中では比較的混練温度が高い、ABS樹脂を選択した。使用するハンダは表1に示

表1 供試ハンダの Sn と Pb の割合

ハンダ種類	ハンダ成分 (wt%)	
	Sn	Pb
ハンダA	30	70
ハンダB	50	50
共晶ハンダ	62	38

す, Sn-Pb 系の 3 種類の粉末状のハンダを用いた.

3-2 材料の混練と射出成形

混練機は森山製作所の加圧 2 軸混練タイプのミックスラボを用いた. あらかじめハンダ粉末と ABS 樹脂ペレットの混合を行った物を混練機に入れ昇温し, 混練温度 200 °C, 回転数 50 rpm で 10 分間混練を行った. 射出成形は射出圧力が 800~900 kg/cm², 射出温度が 230 °C, 金型温度が 25 °C で行った.

4. 混練および射出成形の結果

共晶ハンダ (30 vol%) と ABS 樹脂 (70 vol%) との混練では, 熔融したハンダと樹脂が完全に分離してしまい, 混練することができなかった. Pb 成分が 70% と多いハンダ A では, 十分混練することができた. これは図 1 に示すハンダの状態図から推測すると, この組成のハンダが 200 °C の温度下では半熔融状態であり, 初め α 相として Pb が晶出している状態であり, この固体である Pb が核となり, その周りを共晶組成に近くなったハンダが覆っているものと推測される. 混練ができた理由として, プラスチックに粉末状の固体を混練することはたやすく, ハンダが半熔融状態下では, 微細に晶出した固体の Pb があったため, 混練できたものと思われる.

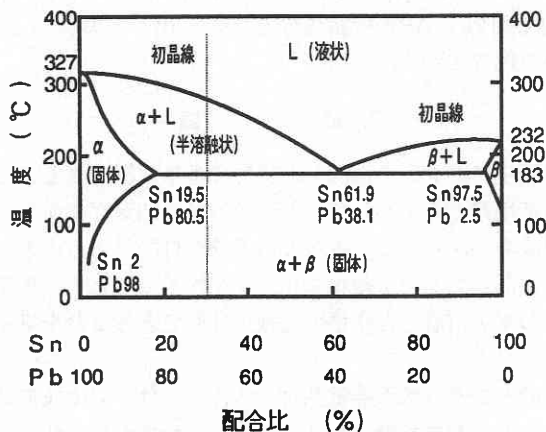


図1 Sn-Pb 系ハンダの状態図

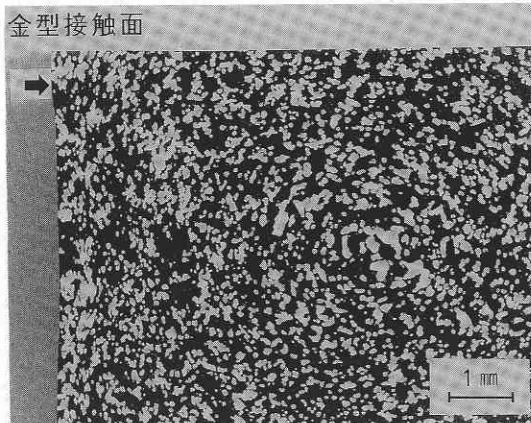


図2 ハンダの分散状態 (ハンダ30 vol% ABS樹脂70 vol%)

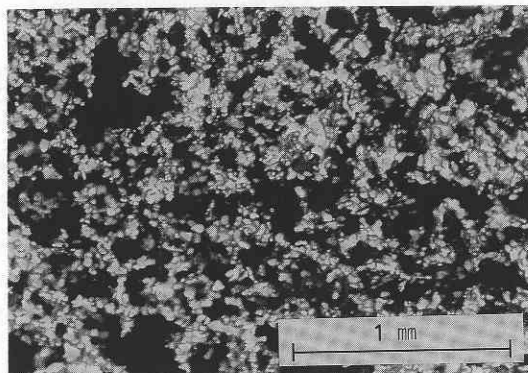


図3 ハンダの接続状態 (ハンダ40 vol% ABS樹脂60 vol%)

Pb 成分が 50% のハンダ B では, 半熔融状態の温度範囲が狭いため, ハンダ A ほど混練性は良好ではないものの, とりあえず混練することができた. また, 単体では混練が不可能であった共晶ハンダに銅粉末を加えた混練では, ハンダ A と同じように十分混練することができた.

図 2 に射出成形体の断面写真を示すが, ハンダが ABS 樹脂中に細かく分散していることが観察できる. 図 3 に, ハンダの接続状況を観察するため, 射出成形体の ABS 樹脂成分を, 溶剤により溶かし出した試料の光学顕微鏡写真を示す. ハンダがお互いにネットワークを組み接続されている様子が観察される.

5. ハンダ量と導電性の関係

ハンダ量と導電性の関係を調査するため, 混入するハンダ量を体積割合で, 5%, 10%, 20%, 25%, 30%, 40%, 50%, 60% の計 8 種類の混練実験を行い, 体積固有抵抗の測定を行った. 図 4 に実験により得られたハンダ混入量と体積固有抵抗の関係と, 混入されたハンダがすべて一直線

研究速報

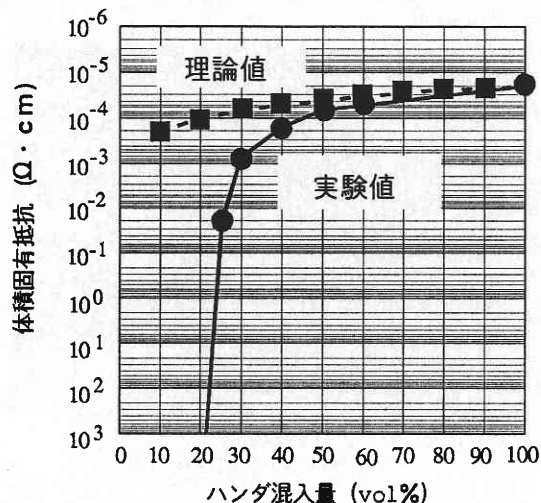


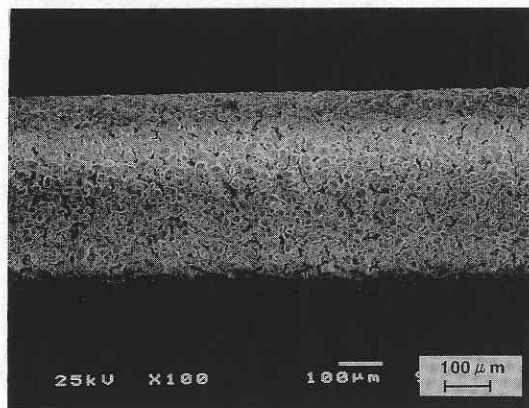
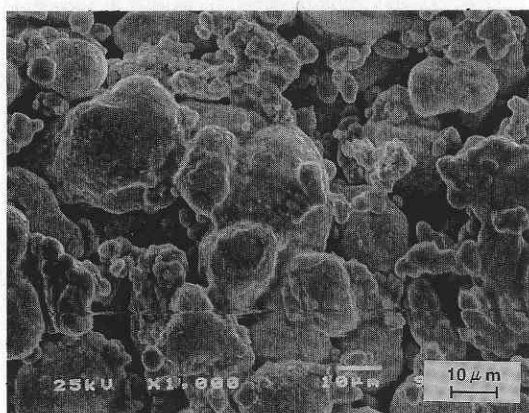
図4 ハンダ混入量と体積固有抵抗

につながったと仮定した場合の理論抵抗値を示す。ハンダ自体の体積固有抵抗は、およそ $2 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ であり、ハンダの混入量が50 vol%以上では、理論抵抗と大差がないことから、混入されたハンダのほとんどが遊離せずに接続していると推測される。20 vol%以下の混入量では、導電性が急激に減少した。この試料を溶剤によりABS樹脂成分を溶かし出した結果、ハンダがお互いに接続されておらず、ばらばらに崩れてしまった。

6. 分散ハンダの微細化

ABS樹脂とハンダの2種類の材料の混練による、ハンダ分散型導電性プラスチックでは、分散されたハンダの大きさはおよそ $100 \mu\text{m}$ 程度であった。この $100 \mu\text{m}$ の大きさでは、例えば、太さが $\phi 0.5 \text{ mm}$ の成形体を成形した場合に、ハンダどうしの接続が切れてしまう箇所があり、導電性を得ることが難しかった。そこで、ハンダをより細かく分散できれば、より細い形状でも導電性を得ることができると考え、ABS樹脂とハンダの他に、銅粉末を5 vol%加えた混練を行った。その結果、分散されたハンダが微細化することがわかった。さらに銅粉末の大きさを小さくすることで、ハンダの大きさも小さくできることがわかった。現在 $10 \mu\text{m}$ の銅粉末を加えることにより、分散ハンダの大きさを $25 \mu\text{m}$ 程度に微細化できている。さらに銅粉末を加えることにより、ハンダ分散型導電性プラスチック自体も、溶融状態で樹脂とハンダが分離することなく長時間安定して使用することが可能になった。

この銅粉末を加えた、ハンダ分散型導電性プラスチックの押し出し成形実験を行った。ノズル径は $\phi 0.3 \text{ mm}$ と $\phi 0.5 \text{ mm}$ で行ったが、両ノズル径とも問題はなく、ひも

押し出し成形体の外観 SEM 写真
(ABS樹脂抽出後)押し出し成形体の表面拡大写真
(ABS樹脂抽出後)図5 ハンダの分散型導電性プラスチックの
押し出し成形体のハンダ接続状態の観察
(押し出し直径： $\phi 0.5 \text{ mm}$)

状に押し出し成形することができた。 $\phi 0.5 \text{ mm}$ のノズルを使用した押し出し成形体の、ハンダ接続状態を観察するため、溶剤を用いてABS樹脂成分を溶かし出した試料のSEM写真を図5に示す。

7. 結 論

樹脂中にハンダを溶融した状態で多量に混入することは、極めて困難と考えられているが、半溶融状態が存在するような組成のハンダでは、樹脂との混練が可能であること。また、共晶ハンダでも銅粉末などを添加することで、樹脂中にハンダを溶融した状態で混練、分散できることを見出した。

このハンダ分散型導電性プラスチックは、射出成形時はハンダが半溶融状態であり、極めて流動性が良い特徴を有し、 $8 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度の高導電性が得られた。

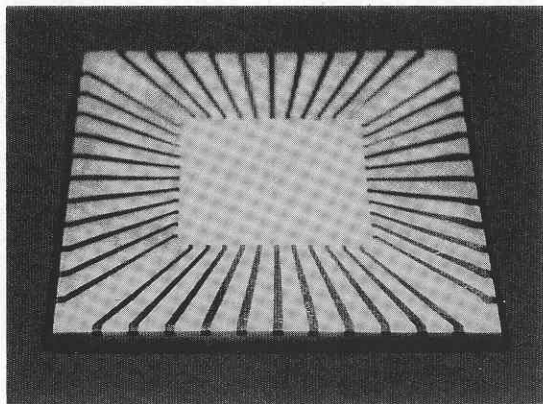


図 6 立体回路の成形例

試料寸法 : 50 mm × 50 mm
 ベース材料 : 耐熱性樹脂
 回路部分 : ハンダ分散型導電性プラスチック
 回路寸法 : 末端 : 1 × 1 mm, 先端 : 0.5 × 1 mm
 ピン数 : 44本

2色成形法により立体回路の射出成形を行った結果, 通常の射出成形機でも問題なくハンダを多量に含む, ハンダ分散型導電性プラスチックを使用できることが, 確認できた。

図 6 にハンダ分散型導電性プラスチックを用いた, 射出

成形による立体回路の成形例を示す. この試料の成形方法は, まず耐熱性の樹脂を用いて, 回路の形状となる溝部分の空間を成形するための, 第 1 工程の射出成形を行う. 次に第 2 工程として, 第 1 工程で作られた溝の中に, 導電性プラスチックを射出成形する合計 2 回の射出成形を行う方法で製作を行ったものである.

今後はハンダ分散型導電性プラスチックの射出成形条件を把握し, さらに複雑な立体回路の形成に挑戦したい. おわりに, 実験を遂行するに当たり便宜を図って戴いた(株)新興セルビック, 大成プラス(株), 東芝ケミカル(株), 喜務良工業(株)の関係各位に深謝する. また, 本実験の一部は(財)双葉記念財団の研究助成によるもので, ここに記して深謝する.
 (1995年12月22日受理)

参 考 文 献

- 1) 野口裕之, 中川威雄: 第 3 会プラスチック成形加工学会年次大会講演論文集, 245-246, 1991. 6
- 2) 野口裕之, 中川威雄: 第 5 回プラスチック成形加工学会年次大会講演論文集, 143-144, 1993. 6
- 3) 野口裕之, 阿部 靖, 中川威雄: 第 6 回プラスチック成形加工学会年次大会講演論文集, 381-382, 1994. 6