

金属短纖維を混入した導電性プラスチックについて

Conductive Plastics Mixed with Metal Fiber

中 川 威 雄*・小 山 浩 幸**・柳 沢 章***・鈴 木 清*

Takeo NAKAGAWA, Hiroyuki KOYAMA, Akira YANAGISAWA and Kiyoshi SUZUKI

最近、電子機器筐体のプラスチック化が多くなされているが、マイコン等の普及に伴い、電子機器の電磁波障害が大きな問題となりつつある。導電性フィラーを混入したプラスチック複合材により電磁波シールドが可能であるが、本所で開発されたびり振動切削による金属短纖維が混入フィラーとして、きわめて有望であることが確かめられた

1. はじめに

近年、半導体集積回路の技術進歩と電子機器筐体のプラスチック化により、小型軽量化が進んできた。この筐体のプラスチック化によって、電子機器の電磁波障害が大きな問題となっている。これらの電子機器（コンピューター・事務機・音響機器・家電製品など）は、処理能力向上のため電子素子が微細化、高速化され使用電流も小さくなっていることから、外部から侵入する電磁波ノイズが制御信号に近いものとなり、誤動作の原因になりうる状態となっている。さらに、これらの素子や回路はそれ自体発振機能を持っているので外部にノイズを出し、電磁波障害の原因ともなっている。すでにアメリカや欧州の一部では電磁波ノイズをシールドすることを義務づけた法的な規制も出されている。

これらの電子機器が正常に動作するための、電磁波ノイズの侵入および発生を防止する対策としては電子機器筐体に導電性を持たせることが有効な方法であり、これは金属製筐体を使用することによって解決される。一度プラスチック化したものを金属材料に戻すことはコスト、重量、形状、外観などの点で問題があり、成形性、

加工性の良いプラスチック材料を導電化することにより解決しようという試みが盛んになされている。

2. 導電性プラスチック

プラスチック材料に導電性を持たせようとするには、プラスチック自体の導電化以外に図1のようにプラスチック成形体表面に導電性皮膜をコーティングするものと、導電性フィラーをプラスチック中に分散混入する複合材に分類される。現在では導電材の表面コーティングによって電磁波シールド効果を持たせているものが多いが、このうちメッキ法に対してアメリカ UL 規格は安全面よりメッキ層の密着性に関する規格の実施を定めつつある。またコーティング法はコストの問題もあり、導電性塗料によるものは比較的価格であるが、その他の方法はかなり高価になるといわれている。一方、導電性フィラーを混入する複合材は、フィラーと成形技術の開発が進められており、まだ研究段階と言えるのが現状である。導電性フィラーとして金属粉末やカーボン粉末を混入したものがあるが、導電化するためには多量に混入しなければならず、強度の低下をもたらす。さらに多くのところで検討されているカーボン粉末を混入したものは

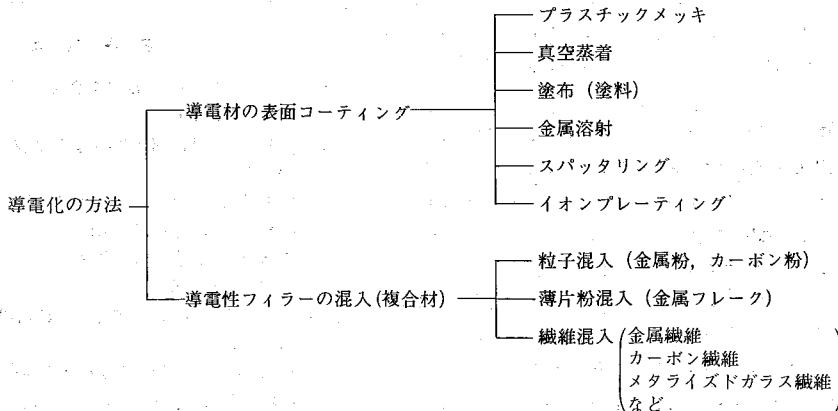


図1 導電性プラスチックの分類

** 東京大学生産技術研究所 第2部

** 芝浦工業大学 *** 日本工業大学

価格の面で有利とされているが、成形品の色が黒色となり用途によっては、後で塗装が必要となる。これに対し繊維を混入した複合材では混入量を減らすことができ、強度の低下も比較的少なく、着色の問題も少ない利点がある。また繊維混入導電性プラスチックは導電化のための後処理が不要で、特別な設備を必要とせず、成形後ただちにアッセンブリーが行えるという利点もある。

3. 混入繊維と成形法

混入する金属繊維に要求される特性としては、材質(強度、硬さ、比重、電気特性、熱伝導性、耐蝕性)、断面形状(円形、リボン)、直径、長さ(長繊維、短繊維)などがあるが、これらはその用途および特性を含めたうえで考慮されるべき事項である。これらの特性のほかに重要なのが繊維価格であり、あまり高価であると特殊なものを除いて使用できない。プラスチック材料に混入する短繊維としては、カーボン繊維、ガラス繊維にアルミや銀をコーティングしたメタライズドガラス繊維、引抜きステンレス繊維を切断したもの、および Melt spinning によるアルミ短繊維があるが、アルミ短繊維を除いていずれも高価である。東大生研・中川研究室で開発した「びびり振動切削法¹⁾」による金属短繊維は若干の制限はあるものの、これまでの金属短繊維と比べコスト的にも優位であり、品質的にも劣らないと考えられる。

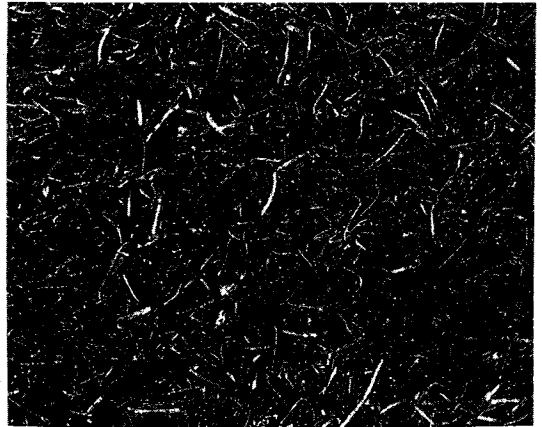
プラスチック材料に繊維を混入する場合、繊維の混合性、分散性および成形性などは、直接成形品の品質や特性に影響を与える。金属繊維混入導電性プラスチックの成形法としては、繊維長さ(長繊維、短繊維)やプラスチック材料によって種々の方法があり、熱可塑性樹脂では射出成形、押出し成形や積層成形など、熱硬化性樹脂では射出成形、圧縮成形や RIM, SMC, BMC などがあげられる。

筐体の成形を考えた場合、成形法として重要なものは射出成形である。射出成形は成形性の容易さや形状の自由度があり、プラスチック材料の成形方法として最も多く使われている。そこで実用化するうえで、成形上の技術的な問題が多い射出成形による金属短繊維混入導電性プラスチックを試作し、その諸特性を調べた。

4. びびり振動切削による金属短繊維を混入した導電性プラスチックの諸特性

4.1 金属短繊維混入導電性プラスチックの射出成形

金属短繊維を混入したプラスチックの射出成形は、粉末状、ペレット状のプラスチックに金属短繊維を直接混合して成形するか、ペレタイザーによって金属短繊維入りペレットを製造した後、射出成形するかのいずれかの方法がある。繊維を均一に分散させるには後者の方法がよく、繊維混入率も大きくできるので、成形方法は金属



(アルミ繊維混入 Ny-6, 繊維長さ: $L=2$ mm)
繊維径: $D=50$ μ m, 混入率: $V_f=15\%$

図2 金属短繊維の分散状態

短繊維入りペレットによる射出成形とした。

供試金属短繊維は、びびり振動切削によるアルミ繊維(繊維長さ $L=1\sim 2.5$ mm, 繊維径 $D=50$ μ m)と鋼繊維($L=1$ mm, $D=35$ μ m)で、酸化膜除去処理などの特別な処理はせず、切削後洗浄しただけのものを用いた。プラスチック材料はナイロン6 (Ny-6, ペレット状)と高密度ポリエチレン (HDPE, 粉末状)を用いた。金属短繊維とプラスチックの組み合わせは、アルミ繊維と Ny-6(成形品形状: $100\times 100\times 3$ mm)、鋼繊維と HDPE(ISO 1号引張試験片)である。射出成形はガラス繊維混入の場合と同様ランナー、ゲートを大きくし、プラスチック単体の成形と比べシリンダー温度、射出圧力を高めに設定した条件で行った。

繊維混入による射出成形において、特に問題となるのは繊維の分散性である。図2はアルミ繊維混入 Ny-6の成形体表面の繊維の分散状態を示すが、短繊維のため流動方向に配向せずに分散しており、繊維がからみ合っているのもみられる。X線透過撮影でも、成形品全体に繊維がほぼ均一に分散していることが確かめられている。

4.2 導電特性

金属短繊維混入導電性プラスチックの導電性は体積固有電気抵抗($\Omega\cdot$ cm)として求めた。端面間の体積固有電気抵抗は図3に示すように、導電性プラスチックの端面を研磨した後、導電性樹脂を塗布し銅線を接続してエレクトロメーターで測定した。また表面抵抗は図4に示すように、成形体の表と裏にリング状の黄銅板をはさみ加圧(面圧力: 50 kg/cm²)した状態で測定した。

図5,6はアルミ繊維混入 Ny-6の成形体端面間の電気抵抗について、繊維のアスペクト比と繊維混入率の影響をそれぞれ示す。また図7に成形体表面の電気抵抗を示す。繊維径を 50 μ m に一定とし、繊維長さを $1\sim 2.5$ mm

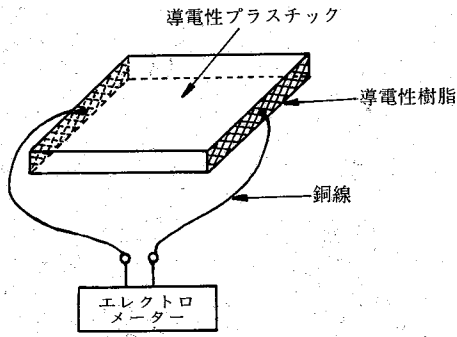


図3 体積固有電気抵抗の測定

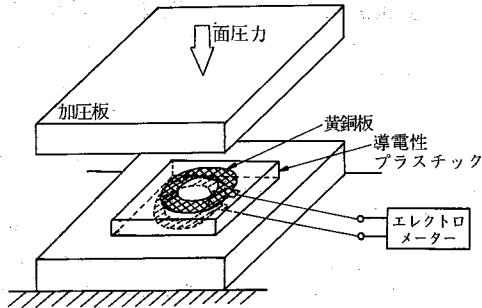


図4 表面抵抗の測定

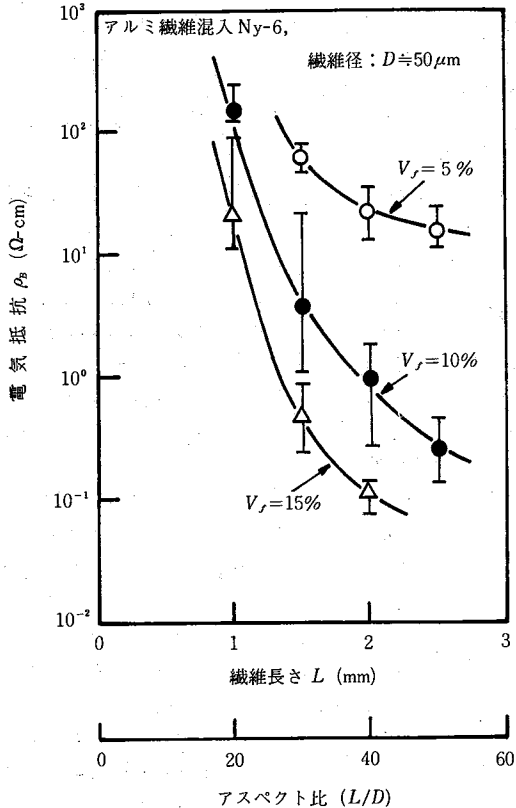


図5 電気抵抗に及ぼす繊維のアスペクト比の影響 (端面間)

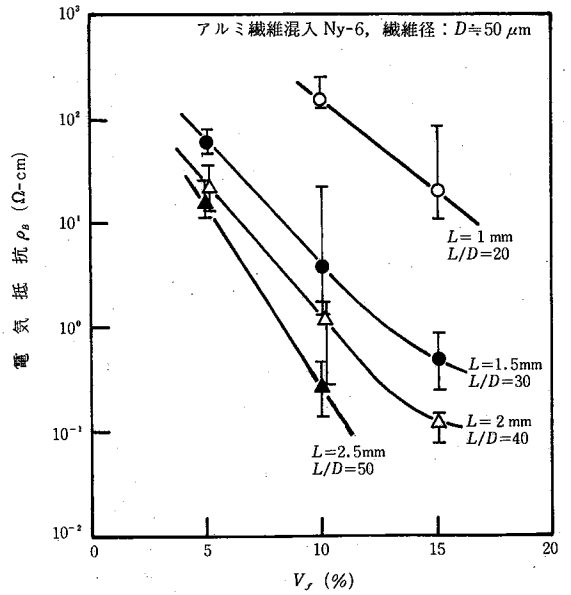


図6 電気抵抗に及ぼす繊維混入率の影響 (端面間)

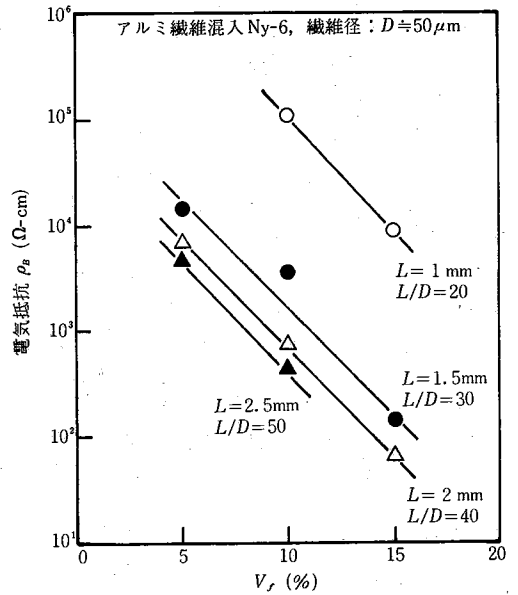


図7 電気抵抗に及ぼす繊維のアスペクト比の影響 (成形体表面)

の間で変えたところ、繊維のアスペクト比が大きくなるにつれて導電性が増した。

電気抵抗は繊維混入率を変えることによって、任意に選ぶことができるが、導電性を顕著に示し始める臨界繊維混入率は、繊維長さ、繊維径、繊維のアスペクト比および繊維の分散性によって変化する。同一混入率であれば繊維長さが長いほど、繊維径が細いほど(繊維のアス

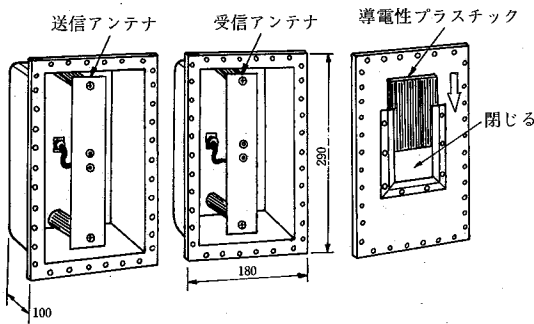


図8 シールドボックスの構造

ペクト比が大きいほど導電性は増すので、繊維混入率を少なくするには、アスペクト比の大きい繊維を用いればよいことになる。

4.3 電磁波シールド特性

電磁波シールドは、電磁波のエネルギーを吸収したり、反射したりして、表面からのエネルギーが伝播するのを妨げることで、そのエネルギーの減衰はシールド効果として次式で示される。³⁾

$$SE = 20 \log \frac{E_1}{E_2}$$

SE: シールド効果 (dB), E_1 : 入射電界強度 (V/m), E_2 : 伝導電界強度 (V/m)

また、体積固有電気抵抗からシールド効果を求めるには次式がある。⁴⁾

$$SE = R + A$$

$$= 50 + 10 \log(\rho_B f)^{-1} + 1.7t \left(\frac{f}{\rho_B} \right)^{\frac{1}{2}}$$

R: 反射による減衰 (dB), A: 吸収による減衰 (dB), ρ_B : 体積固有電気抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$), f : 周波数 (MHz), t : 試料の厚さ (cm)

この式から、電気抵抗の小さい方がシールド効果が大いと言える。このように電気抵抗からシールド効果が推定されるが、実際のシールド効果は、その減衰量を測定する必要があるとされている。しかしプラスチック材料のシールド効果の簡便な測定法は、種々の困難さともないまだ確立されていない。

電磁波シールドの評価は、高インピーダンス電界と低インピーダンス磁界に対するシールド効果、および平面波に対するシールド効果の測定が必要である。また厳密に測定するには大がかりな設備が必要となる。導電性プラスチックのシールド効果を測定する具体的な方法については G. Woodham⁴⁾ や W. P. Nason⁵⁾ らが提案している。このうち、Nason のシールドボックスにより、シールド効果の測定を行った。

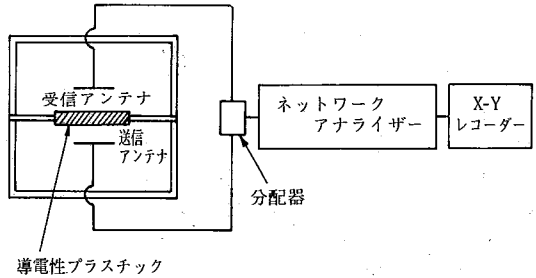


図9 電磁波シールド測定ブロック線図

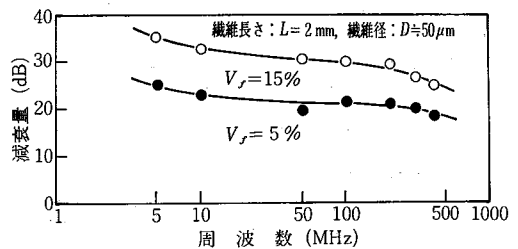


図10 アルミ繊維混入 Ny-6 の電磁波シールド特性

図8にシールドボックスの構造を、図9に測定のプロック線図を示す。シールド効果は、試料なしでの伝播特性を測定し、この特性値と試料を入れて測定した特性値との差を減衰量として求めた。このシールドボックスは内部で共振が起こり特定周波数で異常値を示すが、その周波数を無視すればシールド効果のある程度比較できる。図10に4~500 MHzにおけるアルミ繊維混入 Ny-6 のシールド効果を示すが、アスペクト比40の繊維を $V_f = 15\%$ 混入したとき、平均して約30 dBのシールド効果が得られた。図11は200 MHzにおける減衰量と繊維混入率の関係を示すが、アスペクト比の大きい繊維がシールド効果がある。図12, 13はアスペクト比の大きい繊維(長繊維)によるシールド効果を示す。図12は黄銅繊維 ($L=3 \text{ mm}$) をポリプロピレンに混入した圧縮成形品の結果で、 $V_f=10\%$ の場合、低周波数で約30 dB, 高周波数では約40 dBのシールド効果がある。図13は、びびり振動切削による長さ200 mmのアルミ繊維をエポキシ樹脂にクロス方向(網目状)に混入した場合で約32 dBのシールド効果が認められた。しかし高周波数帯で減衰量が小さくなり、長繊維の混入方法とともに検討すべき問題である。

4.4 熱的特性

金属短繊維混入導電性プラスチックは、ガラス繊維を混入したときよりも、高熱伝導率を有する金属繊維を混

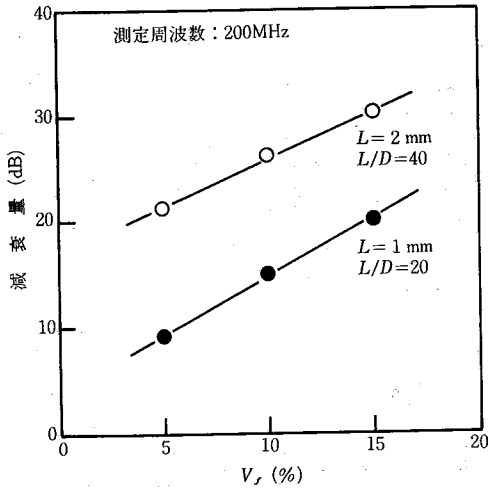


図11 アルミ繊維混入Ny-6の200 MHzにおけるシールド効果

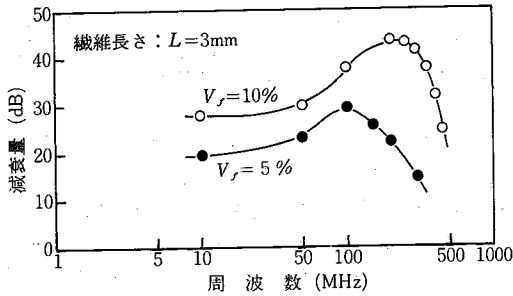


図12 黄銅繊維混入ポリプロピレンのシールド特性(圧縮成形品)

入しているの、熱伝導性が向上する。この特性を利用すれば、面発熱体、成形のための急速加熱、温度変化によるスイッチング機能など幅広い応用が期待できる。図14に示すような装置により熱伝導率を求めた結果を図15に示す。熱伝導性はプラスチックや繊維の種類、繊維のアスペクト比および繊維の分散性に関係があると考えられる。アルミ繊維混入Ny-6の場合、アスペクト比の大きい繊維を $V_f=15\%$ 混入したもものでは、プラスチック単体と比べ約30倍熱伝導性が向上している。また繊維混入率が少ない場合、電気絶縁性を残し、熱伝導性をある程度向上させ、熱の発散を促進させる領域が存在するという特徴もある。

また、電気抵抗の温度依存性を利用した面発熱体が考えられ、導電性プラスチックに通電しジュール熱により加熱した場合の昇温線を図16に示す。表面温度は通電加熱によって5分程で温度上昇が飽和し、定常状態となっている。これは図17のように、導電性プラスチックが温

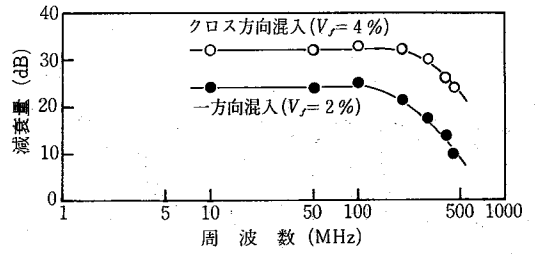
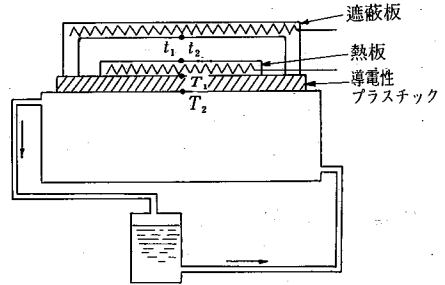


図13 アルミ繊維(長繊維)混入エポキシ樹脂のシールド特性



t_1, t_2 : 温度コントロール用熱電対
 T_1, T_2 : 温度測定用熱電対

図14 熱伝導率の測定(絶対法)

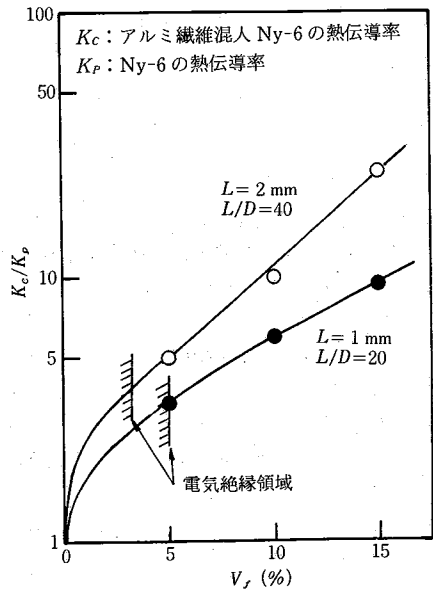


図15 熱伝導性に及ぼす繊維混入率の影響

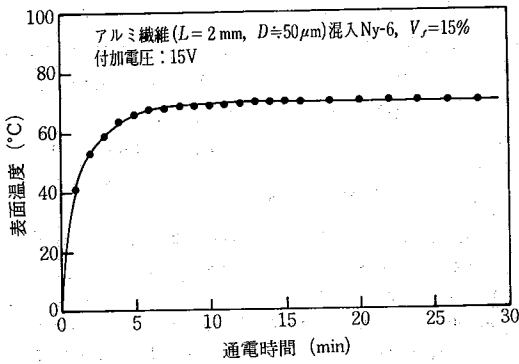


図16 金属短繊維混入導電性プラスチックの通电加熱

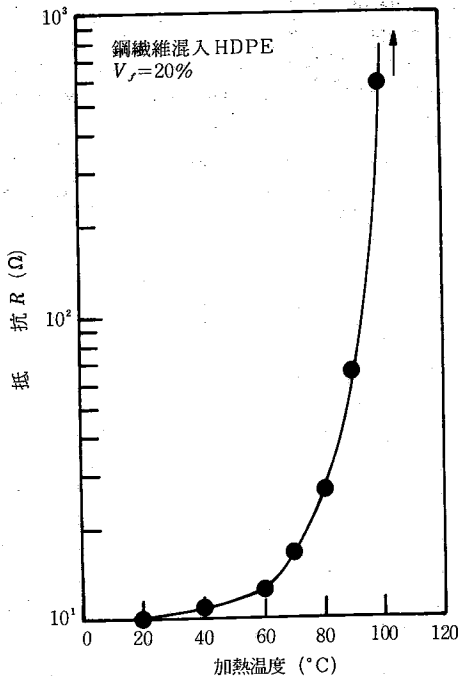


図17 導電性プラスチックの加熱による抵抗の変化

度上昇とともに抵抗値が増加し、ある程度加熱されると通電しなくなるためである。この電気抵抗の温度依存性を利用すれば、面発熱体として十分応用できるものと考えられる。

さらに、導電性プラスチックは誘電加熱(高周波加熱)によって急速加熱ができる。図18は黄銅繊維混入AS樹脂の例で、プラスチック単体では長時間加熱しても熔融しないものが、金属繊維の混入によって短時間で熔融状態となった。この結果、金属繊維を混入した熱可塑性樹脂では、圧縮成形やスタンプパルシート成形などの加熱に応用できるものと考えられる。

4.5 機械的特性

金属短繊維混入導電性プラスチックの機械的特性として、図19に鋼繊維混入HDPEの引張試験結果を示す。

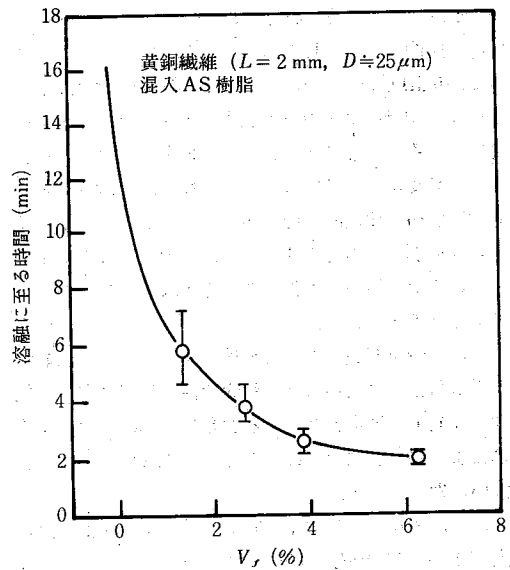


図18 導電性プラスチックの誘電加熱

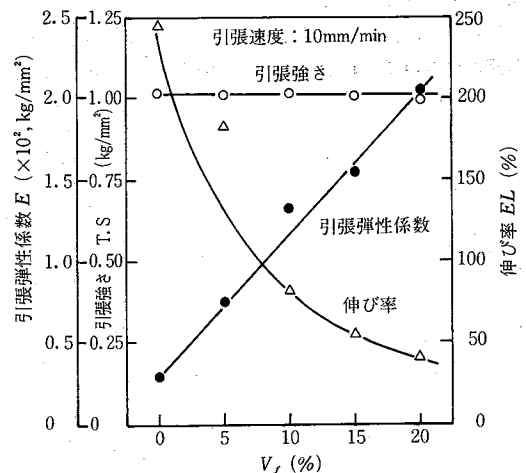


図19 金属短繊維混入導電性プラスチックの引張り特性

混入した繊維が短いことと、マトリクス材の剛性が低いため、引張強さの上昇はほとんどなくプラスチック単体と同じであるが、弾性率はかなりの向上が認められた。また、曲げ試験においても同様の傾向が得られている。しかし短繊維の混入によって衝撃特性が低下することは否めないで、今後混入繊維、成形法など検討し、衝撃強度を向上させる必要がある。

5. おわりに

導電性フィラーによる複合材として、びびり振動切削による金属短繊維を混入した導電性プラスチックを試作し、その特性を調べた。この材料の1つの用途である電子機器の電磁波シールド特性は、4~500 MHzの周波数帯において射出成形品で約30 dB、圧縮成形品で約30

～40 dB のシールド効果が得られた。コンピューターなどでは回路的にもある程度のシールド対策が考慮してあるので、20 dB 程度で十分であるとも言われており、上記のシールド効果は金属短繊維混入導電性プラスチックの実用性があるものと考えられる。このようにびびり繊維は、その品質が優れているばかりでなく、生産性が良いので繊維価格も比較的安価であり、また繊維混入法は特別な設備や加工工程を必要とせず、成形後の二次加工も必要ないので、他の導電化方法に比べればコスト的に有利であると考えられる。

さらに、金属短繊維混入導電性プラスチックは、静電気の帯電防止に効果があり、熱的特性としては熱伝導性の大幅な向上、通電加熱による面発熱体への応用、誘電加熱による急速加熱などの用途も考えられ、今後の発展が大いに期待される。

今後は、より一層の性能の向上を目指し、繊維品質の向上、均一な分散技術、強度向上技術を進めるとともに、電磁波シールド測定法の確立や、SMC や BMC など他の成形法も検討したいと考えている。

終わりに、本研究を遂行するにあたり、電磁波シールド測定についてご教示ならびにご便宜をはかっていただ

いた本所第3部・尾上守夫教授、日本大学生産工学部・長谷部 望助教授に深く感謝いたします。また材料提供と実験にご協力いただいた三菱レイヨン(株)、協和合金(株)、三菱油化(株)に厚くお礼申し上げます。

(1982年4月6日受理)

参 考 文 献

- 1) 中川, 鈴木, 植松, 小山: びびり振動切削による金属短繊維の製造, 精密機械, 47-11 (1981), 85-91
- 2) Military Standard 285 (1956)
- 3) Simon, R. M.: Conductive Plastics for EMI Shielding, Soc. Plast. Eng. Annu. Tech. Conf. (USA) 38 th (1980), 207
- 4) Woodham, G.: Comparison of Test Methods to Evaluate the Shielding Effectiveness of Conductive Thermoplastics, Pactec V, Vol. 1 (USA)
- 5) Nason, W. D.: A Call for Test Standard for EMI Plastic Shielding Materials, Plastic Engineering, (1980), 42-45
- 6) 中川, 小山, 鈴木, 柳沢: 金属繊維混入導電性プラスチックの諸特性, 第7回複合材料シンポジウム講演要旨集, (1981), 52-55.

