電気・電子材料としての高分子の諸問題

桜内雄二郎*

1. 電気電子工学とプラスチック

最近の電気工学電子工学の進歩は実にめざましいものがある。たとえば増幅素子では真空管からトランジスタへ、さらに薄膜能動素子へと進歩し、回路部品は微小化の方向に進み軽量でしかも確実に動作する誘導装置の開発により、ミサイルの開発、人工衛星の開発にいたるまで発展するようになった。

このような電気・電子技術の発展は、もちろん各種材料工学の進歩の裏づけによってはじめて完遂されたものであるが、高分子材料の進歩に負うところがきわめて大きい。戦前ではプラスチック材料といえばセルロイドとベークライト以外には見るべきものがなにもなかったが、その後発展したプラスチック技術は多種多様のプラスチックを創造し、その性質も、軟質製品、硬質の材料、耐電圧の強いものから高周波特性のすぐれたもの、きわめて機械強度の強い材料など、機械材料、磁器材料にはみられないような特殊な性質をもつ材料がつくられるようになった。これらのすぐれた特性をもつプラスチック材料は、電子工学のあらゆる分野に進出し盛んに実用され、その実用領域を拡大しつつあるが、さらに電気、電子技術の進歩に伴って、よりすぐれた特性をもつプラスチック材料が要求されるようになってくる。本項では、このような電気、電子技術に使われている高分子材料の現状の概要とその問題点について述べてみることにする。

2. 高分子材料の電気、電子工学への応用

プラスチック材料は、電気工学、電子工学のあらゆる分野に進出し、実用されているが、その使用状態は第1表および第2表に示すようなものである。本表についてわかるようにプラスチック材料の主な用途は絶縁材料であるが、その他にも、種々の特殊な応用がプラスチック材料の持ち味を生かして行なわれている。

2-1. 絶縁材料としての応用¹⁾

*Yujiro SAKURAUCHI 日本放送協会技術研究所・工博
Several Problems of High Polymer for the Electronic and Electrical Engineering Materials

第1表の項目に分類した、(1)積層板、(2)成形物、(3)ケーブル、コード類、(4)テープシート類がこの中に含まれる。

絶縁材料は低周波用絶縁材料と高周波用絶縁材料との2種に大別される。

プラスチック材料は概して良好な絶縁物で、低周波用絶縁材料としての特性上の問題はあまりないが、プラスチック本来の特性、すなわち、耐熱性、機械強度などの特性と、価格がより大きな要素になってくる。したがって、低周波絶縁材料としては、特性上あまり問題になる点は、見当たらないと考えてよいのではないだろうか。

しかし、高周波絶縁材料の分野では、その要求が緻密になり、複雑多岐にわたる特性が要求される。

いま、プラスチック絶縁材料を第1図aのような平行

第1図

板電極の中に挿入した場合を考えると、この状態における等価回路は、第1図bのように抵抗と容量の並列回路で示される。この回路の実効インピーダンス $|z|$ および回路の消費エネルギー w は次のような関係で示される。

$$|z| = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \delta}} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{\epsilon C_0} \quad (1)$$

$$W = 0.556 f \epsilon \tan \delta V^2 \times 10^{-12} [\text{W/cm}^2] \quad (2)$$

ここに、 f は周波数 cps, ϵ は誘電率, C_0 は電極間の幾何学的容量 (電極間に誘電体をはさまない真空状態における容量), W は単位体積、単位時間あたり絶縁体内に消費されるエネルギー, V は印加電場の強さ V/cm を示す。高周波絶縁材料としては Z の値をなるべく高くとり、 W の値を小に選ばなくてはならない。この傾向は周波数 f の値が大になるにつれて要求が増してくる。 Z の値を小にするためには ϵ の値が小さいことが

第1表 高分子材料のエレクトロニクス応用

No.	項 目	応 用	使 用 さ れ て い る 樹 脂
1	積 層 板	絶縁板, プリント基板, ソケット, 小物部品	フェノール, キシレン, エポキシ, ジアリルフタレート, ポリエステル, シリコン, フラン
2	成 形 物	ソケット, プラグ, 電子装置, 小物部品, 外箱	フェノール, エポキシ, 尿素, ポリエステル
3	ケーブル・コード類	T Vコード, フィーダー, 電源コード	ポリエチレン, 合成ゴム, 塩化ビニル, ポリスチレン, ポリプロピレン, シリコン
4	テープシート類	絶縁テープ	塩化ビニル, ポリエステル, ポリスチレン, ポリエチレン, ポリイソブチレン, DAP, シリコンガラス, テフロン, ポリイミド, ポリカーボネート, 合成ゴム
5	接 着 剤		エポキシ, フェノール, 塩化ビニル, その他
6	絶 縁 塗 料		エポキシ, フェノール, 塩化ビニル, ポリウレタン, アクリル系樹脂
7	回 路 応 用		導電性プラスチック, 抵抗性プラスチック, プリント基板
8	回 路 部 品	抵抗, コンデンサ類	ポリエステル, ポリスチレン, ポリエチレン, テフロン, ポリカーボネート, フェノール, エポキシ
9	音 響 材 料	録音テープ, ダムパー, ビニル音板, 吸音材料, 遮音材料, 録音盤	ポリエステル, 酢酸綿, 酢酸ビニル, 合成ゴム, ポリウレタンスポンジ, 塩化ビニルスポンジ, 尿素樹脂スポンジ, フェノールスポンジ
10	録画, 録音, テープ	TPR 録画テープ(熱可塑性樹脂フィルム録画) VTR 録画(磁気テープ録画)	塩化ビニルフィルム ポリエステルフィルム(マイラー)
11	映画フィルム	テレビ用映画フィルム	三酢酸綿フィルム, ポリエステルフィルム
12	電 波 無 響 室	発 泡 材 料	発泡ポリスチレン
13	歯車, 軸受け, 機構部品	無音軸受け, 歯車, 機構部品, モーター絶縁物	フェノール積層品, ナイロン, ポリアセタール(デルリン), ポリカーボネート, ポリプロピレン
14	光 学 応 用	シュミットレンズ, コンタクトレンズ, 偏光板, フィルタ	メタクリルサンメチルサクサン綿, 耐熱性メタクリル酸樹脂
15	受 像 管 製 作	メタルバック用ラッカー 感光性樹脂	硝化綿, メタクリル酸およびアクリル酸エステル ポリビニルシンナメート(KPR), ポリビニルアルコール

必要で, W の値を極力小さくするためには, $\epsilon \tan \delta$ の値を小さくすることが必要となる。

すなわち, α の値が大であると, 高周波的に絶縁材料はなくなり, また W の値が大であると, 高周波エネルギーを消費し, また絶縁材料が発熱し焼損してしまう結果になる。つまり高周波絶縁物では ϵ および $\tan \delta$ の値が極力小なることが要求され, また, 耐熱性の高いことが要求される。

もちろん, ここに述べた ϵ , $\tan \delta$ の値も使用周波数によって, 要求される値は異なるもので, 比較的低い周波数では ϵ , $\tan \delta$ の値はある程度許容されることになる。

現在, 使用されている高周波絶縁材料においては, 使

用場所によって設計値の変わることもあり, 周波数に対しての, ϵ , $\tan \delta$ の値の許容度の区分ははっきり定められないが, その概算値は次のような値に落ちつくものと思われる。

$0 \sim 10^6$ cps (1 Mc)..... ϵ の値 6 以下,

$\tan \delta$ 10^{-1} 以下

$10^6 \sim$ 数十 Mc ϵ の値 6 以下,

$\tan \delta$ 10^{-2} 以下

数十 Mc ~ 数百 Mc ϵ の値 2.5 以下,

$\tan \delta$ 10^{-3} 以下

数百 Mc 以上 ϵ の値 2 以下,

$\tan \delta$ 10^{-4} 以下

したがって, 数十 Mc 以下の周波数ではベークライト

積層板、キシレン積層板、エポキシ積層板などが使われ、100 Mc 以下の周波数では積層板が使用される場合でも、電極間隙を広くとるなどの注意を払わねばならない。

この周波数ではポリエチレン、ポリスチレンなどの材料までが使用できることになる。

さらに、高い周波数になり、数百 Mc 帯に及ぶと、現在、一般に実用されている絶縁物中、最高級の特フロン以外には使えなくなる。

2-2. 接着剤、塗料

機構材料としての接着剤は、電気応用の分野でも、普通使われている市販接着剤、たとえばエポキシ系接着剤、ニトリルゴム系接着剤が主として使われており、電気用専門としてつくられた特殊なものはない。

電子工学用の特殊接着剤として処法されたものに導電性接着剤がある。これはエポキシ、または塩化酢酸ビニル樹脂のなかに導電性の良い金属粉末、たとえば銀粉を混合して導電性を与えたもので、電子部品の接続部に低温導電接続をするために使用されている。

塗料関係における電子工学技術の応用は機構応用については接着剤の場合と同様に、防サビ塗料として一般用の塗料が使われているが、電気電子工学用の特殊応用として絶縁塗料が使われる。絶縁塗料としてはエポキシ樹脂、フェノール樹脂、キシレン樹脂、シリコンワニスなどが使われ、電線用エナメル塗料としてはポリビニルホルマール、ポリウレタン、ナイロン塗料が使われている。また塗料にも導電性を与えた導電塗料がある。

2-3. 回路応用、回路部品、音響材料

回路応用としては、積層板に銅箔をはりつけたプリント基板があるがこれ以外に、自動車の点火栓の電気回路に使って障害波の防止をはかる炭素含有プラスチック抵抗ひもでつくられたノイズサプレッサーコードがある。これはまだわが国では試作品程度のものがつくられているだけである。この他に、プラスチック中に極微細な銀粒子を分散させた導電性プラスチックがある。

回路部品へのプラスチック応用は重要なエレクトロニクス技術の要素の一つになっている。回路部品応用のうち、プラスチック材料が最も多く使用されているものは容量素子である²⁾。誘電体材料として、ポリエチレン、ポリスチレン、ポリプロピレン、テフロン、ポリカーボネート、ポリエステルフィルムなど、その使われているプラスチックフィルムの種類も非常に多い。このようなプラスチックフィルムが各々特徴を生かされて使われているのである。

回路部品に使われているプラスチック材料で容量素子応用以外には抵抗素子の成形用として、フェノール樹脂、エポキシ樹脂が炭素結合用として使用されている。この結合剤は、モールド抵抗、可変抵抗の製作上、重要な位置を占めている。

プラスチック材料の音響応用としては、重要な分野が3種ある。その第1は音響機器のダンパーで、機器の共振を防止し、音質を改善するために使用するもので、合成ゴムダンパー、シリコン油ダンパーなどが用いられている。

第2の応用はレコード音板および録音板で、レコード音板としては塩化ビニル、酢酸ビニル共重合樹脂が使われ、録音盤材料としては硝化綿が主材料として使用されている。

いま一つの応用は吸音材料および遮音材料応用で、ポリウレタン、ポリ塩化ビニル、尿素樹脂およびフェノール樹脂の多孔体が吸音材料として使われ、また、鉛粉末を充てんしたビニル樹脂シートが遮音板材料として使われている。

2-4. フィルム、テープ類³⁾

電気工学、電子工学に使われている絶縁テープとしては塩化ビニルテープをはじめとして実用されているフィルム、テープ類はきわめて多い。耐熱絶縁テープとしてはシリコン——ガラスクロステープ・テフロンテープがあり、高周波用絶縁テープとして、ポリエチレンフィルム、ポリスチレンフィルムなどがあり、その他マイラーテープ、ポリカーボネートなどが実用され、今後実用化が進められるものと思われるテープフィルムとして、耐熱性ポリイミド系Hフィルム、セミキューア樹脂フィルムDAPフィルムがあり、新製品が続々登場しつつある現状である。

近年、新しい録画方式としてつくられた磁気録画(VTR)では、磁器ヘッドが回転し、また、磁気ヘッドと録音テープの間にかかる圧力は数トンもの値に達する。このようなきびしい条件に耐えるフィルムとしては、現在のところポリエステルフィルム、マイラーフィルム以外にはない。

音声記録用、磁気録音テープとしては、磁気録画用テープのようなはげしい使い方は要求されないため、二酢酸綿テープが使われる。

TV用16mm映画フィルムとしては三酢化綿フィルムが使われている。硬質で、耐熱性があり、耐湿性の強い点が利用されたものである。

2-5. その他の応用

電波無響室の発泡材料にはポリスチレン多孔体が使われている。

スタジオ内装置には無音であることが必要で、機構部品として、ポリアセタール、ポリカーボネート、ポリプロピレン、ナイロン、フェノールなどの樹脂の歯車、軸受けなどの機構部品が使われている。

放送技術で使われているプラスチック材料の光学応用はシュミットレンズ・カラーフィルタおよび偏光フィルタである。シュミットレンズは投射型ブラウン管の映像

をスクリーン上に投影するときの光学レンズ、カラー・フィルタは天然色TV技術の送像側、受像側の色分解、または色合成に使われる。

TV受像管のけい光体焼着には高分子感光材料が使われる。高分子感光材料としては、ポリビニルシンナメート、卵白—重クロム酸系感光材料である。

けい光面に金属を蒸着させるメタルバックの前処理として、プラスチック塗料を吹きつけるラッカーリング工程があるが、この工程に使用するプラスチック塗料として、硝化綿塗料、メタクリル酸およびアクリル酸エステルが用いられている。

3. プラスチック材料とその問題点

電気、電子工学に使われるプラスチック材料でも、その欠点 (Neckpoint) としては機械材料、日用品など一般用途に使用する場合の欠点と共通な弱点が、最も大きな特性上の問題点であることである。すなわち、まず第1にプラスチック材料の機械特性、強度は温度依存性がきわめて高いが、電気特性の温度依存性も同じ傾向をもっている。たとえば、マイラーフィルムコンデンサについて例をとると、第2図に示すように、容量値が100°C

第2図 マイラーフィルムコンデンサの容量および $\tan \delta$ の温度特性²⁾

以上で急激に増加し140°C以上で17%以上も増加する。 $\tan \delta$ の値も同様に変化がばげしい。この傾向はテフロンコンデンサのような比較的安定なプラスチック材料でつくられたと思われるコンデンサでも全く同様に容量値および $\tan \delta$ の値の温度依存性はかなり高い(第3図)。つまり、プラスチック材料の泣き所は特性の温度依存性である²⁾。

低周波用絶縁材料としては機械特性も強く、絶縁性の

第3図 テフロンフィルムコンデンサの容量および $\tan \delta$ の温度特性²⁾

きわめて良いプラスチック材料があり、積層板として強化プラスチックにもできるので、現在の技術水準では十分実用できる材料がそろっているのが問題は、価格の点だけにしぼられる。すなわち、絶縁性の良い材料はいくらかでもあるが、電気業界では、安く、機械的に強い材料が要望されるようになった。

高周波用絶縁材料、特に数百Mc以上の周波数帯に使用するプラスチック材料には使用できる種類が限定される。つまり、ポリエチレン、ポリスチレン、テフロンなどの材料に限定され、また充てん材も自由に選定し、混入、積層して機械特性を改善することはむずかしい。近年、ポリプロピレンのような強力な樹脂ができるようになったため、高周波部分の機構部分、絶縁材料の設計もだいふ見通しが明るくなっている。

プラスチック材料を取り扱う場合には常に熱の問題がつきまとってくる。積層板、特にプリント基板ではハンダ浸漬工程で曲がりが発生する。この彎曲はプリント基板製作上、非常に大きな問題で、しかもフェノール樹脂基板程度の安価な材料でつくられなければならないところに技術的な困難な問題が横たわっている。

電子工学用コンデンサ材料、誘電体フィルム材料としては高誘電率、低 $\tan \delta$ 特性のものが望ましい。現在、誘電率が12~19程度のものはシアン化セルロース樹脂で実現されているが⁴⁾、磁器材料のようにさらに高い誘電率数百から数千までのフィルムが実用化されるならば電子工学用としてきわめて有用な材料になるだろう。もちろんこの場合においても、低 $\tan \delta$ の条件が満足され、湿度に影響されないものでなければならない。

高周波絶縁材料としては、これとは全く逆に、低誘電率、低 $\tan \delta$ の特性のものが強く要望されている。誘電率が1にきわめて近い値のものは発泡ポリスチレン、発泡ポリエチレンで実現されているが、材質が部分的に均一でなく、機械強度が弱いために特定な箇所以外には使用に耐えない。均一な材質で、機械強度が十分にあり、低誘電率、低 $\tan \delta$ 材料ができれば電子技術材料としてきわめてすぐれたものとなるだろう。

VTR (磁気録画) 技術では録画テープに数 t/cm² の圧力が印加され、しかも、録音ヘッドは、高速に回転しているから現在使用されているポリエステルフィルムでも再生回数は200回程度であるという。さらに強く薄いフィルムの出現が望まれる。

次に、音響材料に視界を転じてみよう。吸音材料としては建築材料としての要素を多分にもっている。したがって色彩感覚も美しく、清潔な感じのプラスチックフォームは理想的な建築吸音材料として認められる。それにもかかわらずあまり使用されておらないのは価格の問題だけで“使用できない技術上の理由は全く見当たらない”。安く、美しいプラスチック吸音材料の出現が望

まれる。

電子工学には真空はつきものである。一般のプラスチック材料では高真空中に挿入すると、樹脂中からガスが放出され真空度を著しく害する。現在、真空用グリースにはシリコングリースが用いられ、また真空用エポキシ樹脂では 10^{-8} mmHg まで保持できるといわれているが⁵⁾、大きな構造体をプラスチックで成形し、真空保持できるような安価な材料ができれば、防爆構造安全ガラスでつくられた TV 受像管も夢ではなくなるはずである。

電気、電子技術に使用されるプラスチック材料の上述以外の問題点を簡単に述べてみよう。

宇宙通信の衛星打ち上げ用ロケット材料には耐熱、軽量構造のプラスチック材料が要求される。

プラスチック絶縁材料では表面に静電気を帯電することがある。これを防止するために帯電防止処理を行なうが、現在、界面活性剤を使う方法、オルガノシリケートを使用する方法があるが、これでもなお不十分な場合がある。さらに強力な帯電防止剤ができれば便利である。

現在ある導電性樹脂材料は導電性を与えるために銀粉を使うか、炭素粉を混和しているが炭素粉を使用したものは導電性が良くない。また銀粉を使ったものは高価である。導電性が良くて安価な材料が望まれる。

感光性樹脂では、光の波長、または電子線の波長によって感光度の異なる感光性樹脂が望まれる。

スクリーン・プロセス用のスクリーンを製作する場合、ツギ目なしの、折り目なしの $3\text{m} \times 4\text{m}$ 程度のプラスチッククロス、またはシートが要求される。簡単な方法でつくりうるならば、安いプロセス用スクリーンを試作することができるであろう。

4. 結 言

電子技術もプラスチック技術もきわめて進歩の早い科学である。電気、電子技術が発展すれば、それに使用されるプラスチック材料もさらにすぐれた材料が要求されることは当然である。

電気電子材料として見た場合に要求されるプラスチック材料の特徴を述べてみよう。

- (1) 電気、電子技術からのプラスチック材料への要求はきわめて、キメが細かい。たとえばテフロン樹脂の誘電率は 2.0 であるが、これが 0.5 だけ下げた 1.5 程度になると大きな問題になる。このような

とは、あらゆる使用箇所に現われる。

- (2) 電気電子工学材料、特に電子工学材料は、使用量が少ないにかかわらず、特性は高度のものが要求される。従来は他の目的につくられた樹脂材料を導入して使っていたが、現在では電気、電子材料としての目的でつくられたものも多く出回るようになった。

- (3) 電気電子材料としてのプラスチック材料の性能上の要求はきわめて多岐にわたっており、現在つくられているプラスチック材料のほとんどすべてにわたって使用され、さらに非常に特殊なプラスチック材料まで要求されている。

- (4) 電気、電子工業も他の工業と同様に競争がはげしく、安価なしかも特性の良い材料が要求される。

プラスチック工業も現在、一つの大きな転機にさしかかっているのではなからうか。ストレートな構造をもつ高分子は大体出そろった形で、今後 Polyalloy 時代に移って行くのではないだろうか。また、無機元素、金属元素をその主構造のなかに含めた新しい、Organometallic polymer, または Inorganic-organic co-polymer などの出現が期待されるのではなからうか。

少し夢物語に近くなるが、驚異的なプラスチック材料技術の進歩を考えるならば、導電性透明プラスチックの出現も可能ではないだろうか。また、プラスチック半導体を使つたトランジスタはできないものだろうか。

電子工学の進歩を考え、プラスチック技術の無限の可能性を信じるならば、そう遠くない将来、この夢物語もみごとに実現される日も、必ず来るように思われる。

文 献

- 1) 桜内雄二郎：電気電子技術者のためのプラスチック材料の選び方、使い方，98，日刊工業新聞社
- 2) J. H. Cozen: "Development of Plastic Dielectric Capacitors"; IRE, Transaction on Component Part (June 1959)
- 3) 文献 1) の 136 ページ
- 4) "New Cyanocell Highest Dielectric Constant, Extra Row Dissipation factor", American Cyanamid. Co.
- 5) Torr Seal: "Low Vapor Pressure Resin Data and Instrument Sheet Model", No. 593,0001; Varian Associated.