

## 高耐熱プリント配線板材料への取組み

～ガラス転移温度(Tg)350℃へ向けて～

We have been developing High Tg PWB materials for over 40 years as technical progress of electronic equipment. And we will develop High Tg PWB material of over 350 degree C installed in Power converters of EV/PHEV or for ECU substrates installed in engine compartments.

### ■ガラス転移温度(Tg)とは

電子機器の多様化が進むにつれ、プリント配線板材料にも、さらなる耐熱性が要求されています。

この耐熱性を評価する指標として、ガラス転移温度 (Tg) や熱分解温度 (Td)、あるいは相対温度指数 (RTI) などがありますが、もっともポピュラーな指標として採用されているのがTg (=Glass Transition Temperature) です。

Tgとはフェノールやエポキシといった熱硬化性の樹脂を加熱していくと、材料の物性がガラス状からゴム状へと転移する温度です。この前後の温度に達すると、樹脂の機械的強度や誘電率などの物性が大きく変化するため、プリント配線板材料には高いTg点を有することが要求されるわけです。

### ■ガラス転移温度(Tg)の測定方法

Tgの測定方法には、①動的粘弾性測定装置 (DMA)、②熱機械分析装置 (TMA)、③示差走査熱量測定装置 (DSC) によるものがあります。

#### ①動的粘弾性測定装置 (Dynamic Mechanical Analysis:DMA)

##### [ 定義 ]

試料に動的な荷重 (振動) を与えることにより、その物質の粘弾性特性や弾性率を温度の関数として測定する方法。

一般的に材料の機械的物性を知るためには、引っ張り、曲げ、圧縮などのように一様で一方向の負荷を与えます。

これに対しDMAでは、振動を与えるのが特徴



▲動的粘弾性測定装置

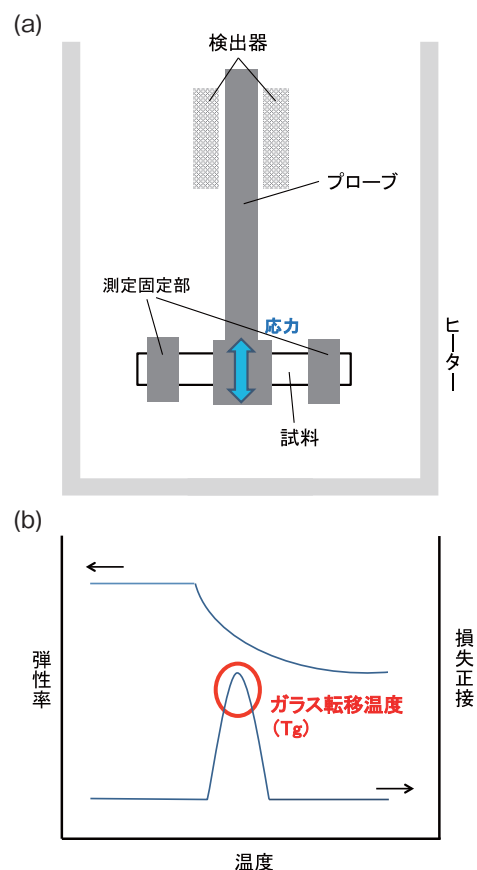
です。

図1(a)のように試料を検出器にセットし、ヒーターで加熱しながらプローブを介して負荷 (応力) を与えます。

この負荷には、あらかじめ設定した周波数をもつ振動 (正弦波) を加えていますので、試料はプローブの動きに対して、やや遅れて変形します。

この時間のずれや変形量、負荷の大きさや振動の周波数をもとに、材料の弾性率 (貯蔵弾性率) と粘性率 (損失弾性率) を算出します。

そして、これらの数値の比から得られる損失正接:  $\tan \delta$  のピーク値の温度を試料のTg点とします (図1(b))。



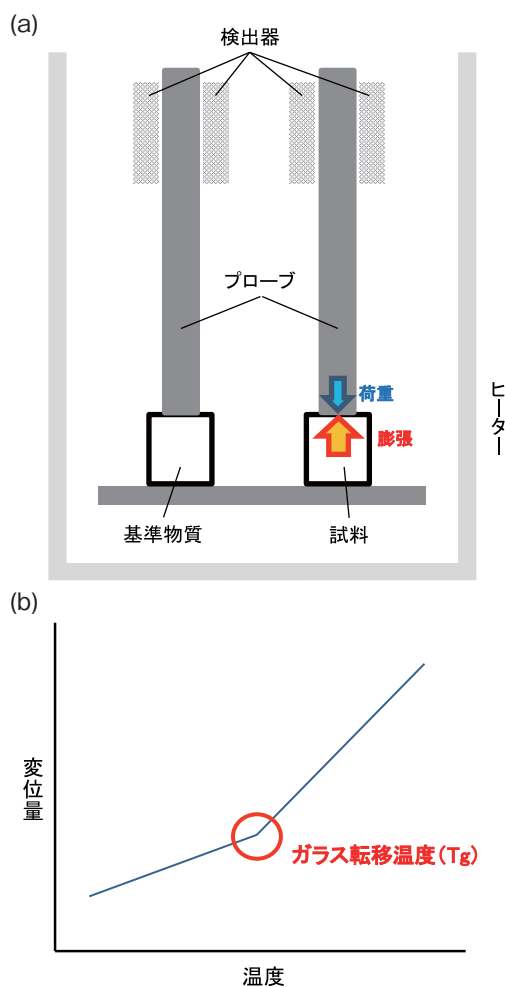
▲図1 DMA測定概略図(a)と測定チャート(b)

## ②熱機械分析装置 (Thermal Mechanical Analysis:TMA)

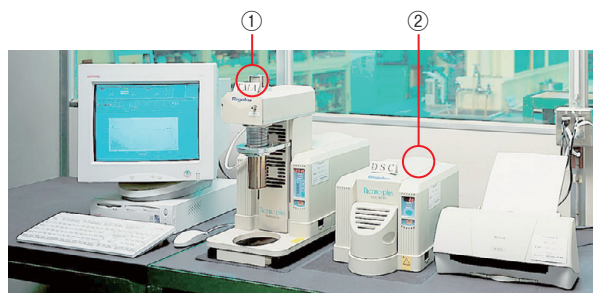
### [ 定義 ]

試料の温度を一定のプログラムによって変化させながら、静的な荷重を加えてその物質の変形を温度または時間の関数として測定する方法。

測定温度の範囲内では熱膨張が一定の割合で直線的に増加する基準物質と、試料を、同時に一定速度で加熱する試験方法です。



▲図2 TMA測定概略図(a)と測定チャート(b)



▲①熱機械分析装置と②示差走査熱量測定装置

図2(a)のように、基準物質（石英ガラスなど）と試料をそれぞれ検出器にセットし、プローブを介して荷重を与えながら、ヒーターで加熱します。

試料には温度変化に応じた熱膨張が生じますので、その変位量をグラフ（TMAチャート）にしたのが図2(b)です。このTMAチャート上で、変異量が大きく変化する点をTg点とします。

TMA法は示差膨張方式と呼ばれ、熱膨張が直線的に生じる基準物質と比較することで、試料のTg点を高精度に測定することができます。

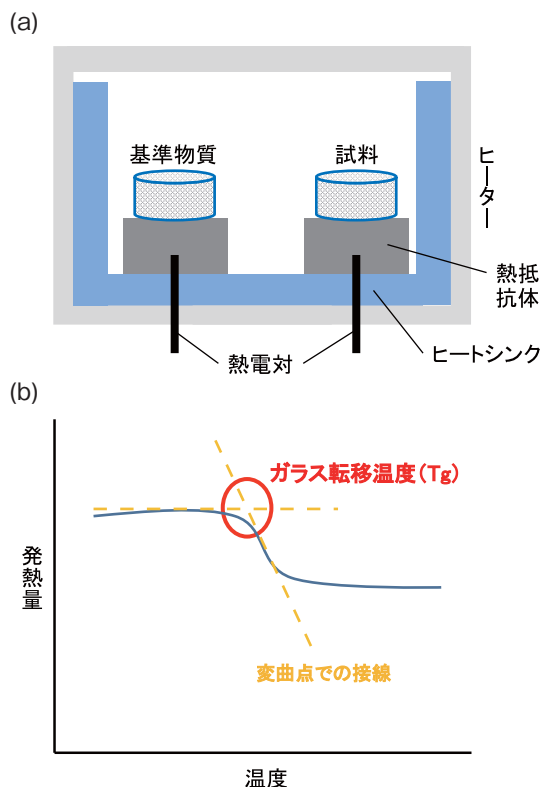
## ③示差走査熱量測定装置 (Differential Scanning Calorimetry :DSC)

### [ 定義 ]

試料と基準物質に一定の熱を与えながら、その試料と基準物質との温度差を捉え、試料の状態変化による吸熱や発熱反応を測定する方法。

測定温度の範囲内では熱的な変化が生じない基準物質（アルミナなど）と、試料を、一定速度で加熱する試験方法です。

図3(a)のように、基準物質と試料は熱抵抗体と



▲図3 DSC測定概略図(a)と測定チャート(b)

温度制御されたヒートシンクを介してヒーターと接合されます。また熱電対（ねつでんつい）には、温度上昇に応じた電流が流れます。

加熱により試料に物性変化が生じると温度の上昇に停滞が生じますが、基準物質は直線的に温度が上昇します。この温度差を熱電対からのDSC信号として読み取り、グラフ（DSCチャート）にしたのが図3(b)です。

DSCチャートでは、変曲点の接線の交点が試料のTg点となります。

### ■プリント配線板材料について

プリント配線板材料は樹脂と充填材、ならびに補強材から構成されております。

各項目の一例を下表に示します。

| 項目  | 例  |
|-----|--|
| 樹脂  | フェノール樹脂、エポキシ樹脂、シリコン樹脂、フッ素樹脂など                |
| 充填材 | シリカ、水酸化アルミニウム、水酸化マグネシウム、タルク、酸化チタン、酸化アルミニウムなど |
| 補強材 | 紙、布、ガラスクロス、カーボクロス、有機繊維など                     |

上表のように、項目の組み合わせは無数にありますが、家電をはじめ幅広い用途に使用される、耐熱性を備えたプリント配線板材料は、エポキシ樹脂をガラス布で補強したものです。

しかし、車載機器や半導体パッケージに使用されるものは、さらに高い耐熱性が要求されます。

これまで利昌工業では、高耐熱のニーズに応えるべく、樹脂の分子設計や充填材の制御技術を駆使して、高い耐熱性を備えたプリント配線板材料の開発に取り組んでまいりました。

### ■利昌工業の高耐熱プリント配線板材料の歩み

#### ◆ブラックG-10 CS-3525

図4は、業界が必要とするプリント配線板材料の耐熱特性（クラスB≒ミドルエンド用途）とリショーライト高耐熱プリント配線板材料の開発の軌跡を描いたものです。

リショーライト高耐熱プリント配線板材料の嚆矢となったのは、1975年に開発したブラックG-10「CS-3525」です。

これはANSI（American National Standards Institute = 米国国家規格協会）規格でG-10に分類される材料の樹脂配合をベースに、当社独自の硬化システムにより開発した黒色のG-10材です。一般的なG-10材のTgが120℃程度であるのに対し、ブラックG-10はTg=160℃を達成しました。

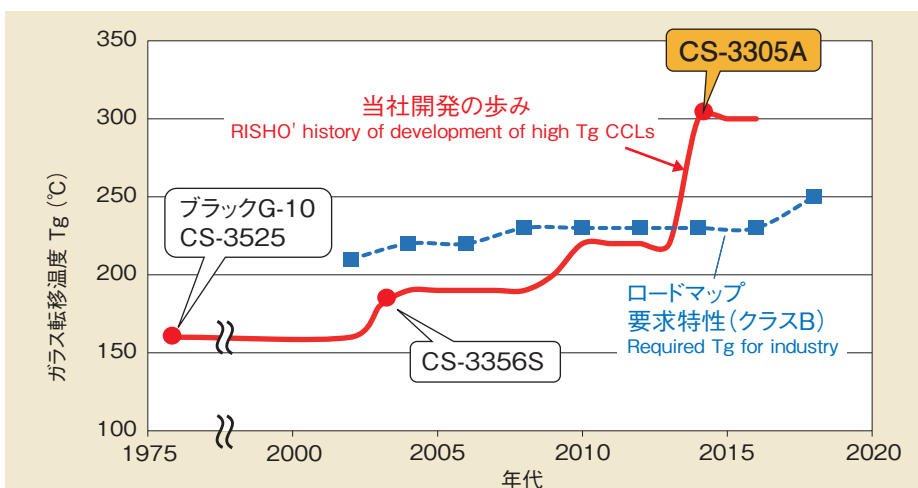


▲CS-3525

当時業界では、機器の小型化・軽量化を進めるため、半導体をワイヤーで直接基板に接続するダイレクト・ボンディングが始まっていましたが、基板材料には高価なセラミック基板が採用されており、これが普及への障壁となっていました。

CS-3525は、安価な樹脂基板材料でありながら

▼図4 プリント配線板材料のロードマップ要求特性（ミドルエンド用途）と当社の歩み  
RISHO' history of development of high Tg CCLs



[引用文献]

- ・プリント配線板ロードマップ(一般社団法人 日本電子回路工業会)
- ・日本実装技術ロードマップ(一般社団法人 電子情報技術産業協会)
- ☆ロードマップでは製品の難易度で大別し3クラスに類型化される。  
 クラスA:主として多量生産に用いられるプリント配線板  
 クラスB:先端技術を保有するメーカーが量産供給可能な製品  
 クラスC:業界の最先端技術を保有するメーカーでも大量生産技術が未確立な製品

も、ワイヤー・ボンディングの高温と荷重に耐える材料であることが評価され、電子式（クォーツ）腕時計の基板材料としてご採用頂き、当時高価であった電子式腕時計の普及に少なからず貢献することができました。

このブラックG-10は、現在でも耐熱性の必要な分野でご採用いただくロングセラーです。

## ◆ハロゲンフリー Tg=180°C CS-3356S

その後も様々な機械の電子化が進み、プリント配線板材料には、耐熱性に加え「難燃性」が求められるようになり、さらに環境への配慮から難燃性には「ハロゲンフリー化」も要求されるようになりました。

また、2003年頃には、溶融温度が高い鉛フリーはんだが本格採用されることで、プリント配線板材料には実装工程での熱履歴、つまり鉛フリーはんだの熱と、それにとまなう加熱処理に対する耐熱特性への要求も加わりました。

これを受けて利昌工業では、ハロゲンフリーでかつTg=180°Cの耐熱性を兼ね備えた「CS-3356S」を開発しました。

CS-3356Sはこれまでに自動車の電子制御基板（ECU）や通信モジュール基板としてご採用頂いております。

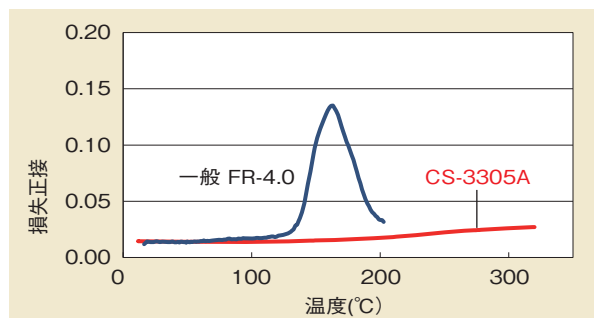


▲CS-3356S(手前)と黒色のCS-3556S

## ◆Tg=300°C 低熱膨張 CS-3305A

2014年には、超高耐熱かつ低熱膨張のプリント

▼図5 CS-3305AのDMA (tanδ) チャート



一般FR-4.0は150°C付近にTgのピークが見られる。CS-3305Aは300°Cでも明確なピークは現れません。

表1 高耐熱プリント配線板のラインナップと今後の目標

| 項目<br>Test items                     |                      | 単位<br>Unit | CS-3525 | CS-3356S | CS-3305A | Target  |
|--------------------------------------|----------------------|------------|---------|----------|----------|---------|
| ガラス布 Glass                           |                      |            | E-Glass | E-Glass  | E-Glass  | E-Glass |
| ハロゲンフリー対応 Halogen free               |                      |            | ○       | ○        | ○        | ○       |
| 多層成型 Multi-layer process             |                      |            | —       | ○        | ○        | ○       |
| 線膨張係数<br>CTE                         | タテ/ヨコ α <sub>1</sub> | ppm/°C     | 12/13   | 12/12    | 6~8/6~8  | —       |
|                                      | 厚さ α <sub>1</sub>    | ppm/°C     | 63      | 27       | 10~15    | <10     |
| ガラス転移温度 T <sub>g</sub>               |                      | DMA        | °C      | 160      | 180      | 300<    |
| 曲げ強さ<br>Flexural strength            |                      | タテ/ヨコ      | MPa     | 580/480  | 610/450  | 520/500 |
| 耐燃性 (UL94 method)<br>UL flammability |                      |            | —       | 94HB     | 94V-0    | V-0相当   |

配線板材料「CS-3305A」をリリースしました。

CS-3305Aの開発には独自の耐熱性ノウハウに加え、低熱膨張分子構造の制御技術、さらには無機充填材の形状や粒径、分布の制御技術を結集し、Tg: 300°C (図5) という超高耐熱性と低熱膨張性 (CTE=6ppm/°C) を達成し、おかげさまでリリース当初から現在に至るまで、多くの引き合いを賜っております。



▲CS-3305A

なお、CS-3525とCS-3305Aについては本誌の202号 (July. 2016) でもご紹介しています。

## ◆今後の取組み

電気自動車の電力変換用半導体のように、発熱量が非常に大きい部品を搭載するパワーデバイス基板には、さらなる耐熱性が必要になってくると予想されます。

利昌工業では今後、表1のようにTg=350°Cを満たすプリント配線板材料の開発に取組み、電気自動車 (EV) やプラグインハイブリッド車 (PHEV) 用のパワーデバイス基板や、エンジンルームなどの高温環境に設置されるECU基板への採用を目標としています。

**RISHO**

高耐熱 & 低熱膨張  
プリント配線板材料

**CS-3305A**

- ① Tg<300°C
- ② CTE=6ppm/°C (E-glass)

**利昌工業株式会社**  
RISHO KOGYO CO., LTD.

http://www.risho.co.jp/

CS-3305A