

# 耐久性に優れた 電気絶縁用ポリウレタン樹脂の技術開発

太陽電池、LED、家庭用燃料電池など耐用年数が長い家電製品が近年、市場に出てきている。特に家庭用燃料電池は日本発の先進環境技術で、世界が注目している製品である。世界市場の予測は2014年度に419億円、2030年度では7,910億円の見込み<sup>1)</sup>と顕著な増加となっている。

家庭用燃料電池は、天然ガスから水素を取り出し、酸素と反応させることで水と電気を発生させる仕組みである(図1)。この家庭用燃料電池は、発電ユニット、貯湯ユニットの2つからなり、これらユニットを制御する電子基板も内蔵している。家庭用燃料電池はこれまでの家電製品と比べ耐用年数が長い。また、屋外に設置することで雨風などにさらされることや水を扱う貯湯ユニットがあることから、製品の耐湿性能が必要である。

このように家電製品の制御基板などの電子部品を保護する、電気絶縁用注型樹脂の耐久性向上も求められている。

本稿では耐用年数が長い家電製品向けに開発した、高耐久性の二液混合型電気絶縁用ポリウレタン樹脂の技術について述べる。

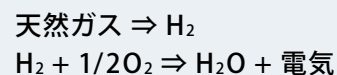
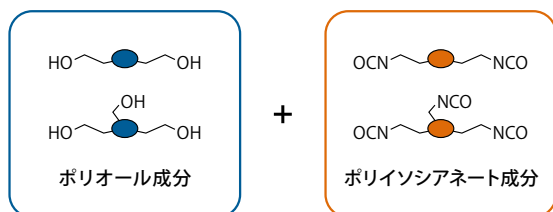


図1 燃料電池の発電原理



## 1. 電気絶縁用ポリウレタン樹脂

### 1.1 ウレタン樹脂とは

ウレタン樹脂は、ウレタン結合を有する高分子化合物の総称であり、一般的にはイソシアネート基を有するポリイソシアネート成分と、活性水素化合物を含むポリオール成分の重付加反応から得られる(図2)。ポリイソシアネート成分やポリオール成分は多種多様で、その組み合わせによりさまざまな機能や性能、性状を持つウレタン樹脂が得られる。ウレタン樹脂は、軽量の断熱材として自動車、飛行機、船舶、住宅や工場などに使われるほか、クッション材として車両のシート、ベッドやソファ、また塗料、防水材、床材、止水材、バインダーなど幅広い用途がある。

### 1.2 電気絶縁用途

極性の小さいグリセリン化合物やポリオレフィン化合物、可塑剤など原料の選定によって、ポリウレタン樹脂は電気を通しにくい絶縁体を構築することができる。

二液混合型電気絶縁用ポリウレタン樹脂はポリオール成分とポリイソシアネート成分をミキサーで混合後、基板ケースに注型し硬化させる(図3)。

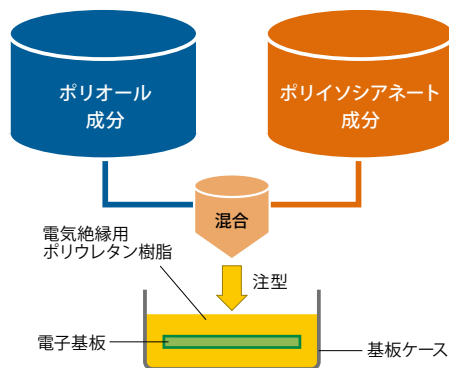


図3 二液混合型電気絶縁用ポリウレタン樹脂の基板注型方法

熱や水など外的因子から電気・電子部品の電子基板を保護する役割のほか、ポリウレタン樹脂自体が難燃性を持つため部品の発火を抑制し、また放熱性による電子部品の発熱低減などの役割を持つ(図4)。

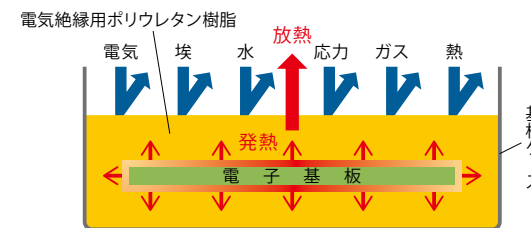


図4 二液混合型電気絶縁用ポリウレタン樹脂の役割

### 1.3 求められる性能

耐用年数が長い家電製品が相次いで市場に出ていることから電子部品の長寿命化が求められている。また家電製品は小型・軽量・薄型化が進んでいる。さらに電子部品は性能が向上しており、高速かつ大容量の情報処理が可能となっている。このような小型化や高機能化に伴い、電子部品からの発熱量が増加する傾向にある。電子部品の発熱は部品自体の寿命を短くすることから、熱対策も必要となっている。よって、これら電子基板の課題点に対応した樹脂の開発を要望されている。

## 2. 当社電気絶縁用ポリウレタン樹脂 エイムフレックスEF-568

ポリウレタン樹脂の骨格を種々検討することで、汎用ポリウレタン樹脂(以下、汎用樹脂)の課題であった耐

表1 一般性状

| 項目             | 樹脂     |            | エイムフレックス EF-568        |                 |
|----------------|--------|------------|------------------------|-----------------|
|                | 汎用樹脂   | 汎用樹脂       | エイムフレックス EF-568        | エイムフレックス EF-568 |
| 構成成分           | ポリオール  | ポリイソシアネート  | ポリオール                  | ポリイソシアネート       |
| 外観             | 透明液状   | 透明液状       | 黒色液状                   | 透明液状            |
| 粘度 [mPa・s/25℃] | 700    | 100        | 20,000                 | 100             |
| 比重             | 0.96   | 1.17       | 1.74                   | 0.99            |
| 配合比            | 重量比    | 100 / 70   | 100 / 16               |                 |
|                | 体積比    | 100 / 57.4 | 100 / 28.1             |                 |
| 配合粘度 [mPa・s]   | 25℃    | 350        | 2,000                  |                 |
|                | 60℃    | —          | 800                    |                 |
| 難燃機構           | リン系難燃剤 |            | 無機系難燃剤 (リンフリー、ハロゲンフリー) |                 |

湿熱性を大幅に向上することに成功し、エイムフレックスEF-568(以下、EF-568)を開発した(表1、表2)。

### 2.1 耐湿熱性

#### 2.1.1 難燃性

電気製品向けの材料として高い難燃性は重要項目である。家電製品に使用する部品の材料は、UL\*1(Underwriters Laboratories Inc.)の難燃規格であるUL-94\*2を満たすことが求められ、EF-568はV-0の認証を取得している。リン系難燃剤を配合した汎用樹脂は低粘度で作業性が良いが耐久性は低く、ハロゲン系難燃剤を配合した樹脂は環境負荷物質を含むものもある。EF-568は難燃剤として無機系を使用しており、リンフリー、ハロゲンフリーであることから耐久性、環境性に優れている(表3)。

表2 硬化物特性

| 項目                         | 樹脂 | 汎用樹脂                 | エイムフレックス EF-568                |
|----------------------------|----|----------------------|--------------------------------|
| 外観                         |    | 透明                   | 黒色                             |
| 硬度 [Shore A]               |    | 38                   | 48                             |
| 密度 [g/cm <sup>3</sup> ]    |    | 1.05                 | 1.57                           |
| 熱伝導率 [W/m・K]               |    | 0.2                  | 0.7                            |
| 体積固有抵抗 [Ω・cm]              |    | 1.0×10 <sup>13</sup> | 1.0×10 <sup>12</sup>           |
| 絶縁破壊電圧 [kV/mm]             |    | 26                   | 24                             |
| 線膨張率 [ppm]                 |    | 190                  | 200                            |
| 引張強度 [MPa]                 |    | 1.1                  | 1.6                            |
| 伸び [%]                     |    | 150                  | 70                             |
| ガラス転移温度 [℃]                |    | -13                  | -60                            |
| 耐加水分解性 (121℃×100%RH, 2atm) |    | 48時間以内に溶解            | 1,500時間で溶解せず                   |
| 難燃性 [UL-94]                |    | V-0認証                | V-0認証(1.6mm)                   |
| JET 絶縁耐力                   |    | 未登録                  | 130℃登録(0.5mm)<br>135℃登録(1.0mm) |

表3 難燃剤が電気絶縁用ポリウレタン樹脂に与える影響

| 影響項目     | 難燃剤 | 無機系難燃剤 | リン系難燃剤 | ハロゲン系難燃剤 |
|----------|-----|--------|--------|----------|
| 環境負荷物質   |     | ◎      | △      | △        |
| 難燃剤の耐湿熱性 |     | ◎      | ×      | ○        |
| 湿熱下の硬度寿命 |     | ◎      | ×      | ○        |
| 作業性      |     | △~○    | ◎      | ◎        |
| 耐湿絶縁性    |     | ○      | ×      | ○        |
| 放熱性      |     | ◎      | ×      | ×        |

◎:最適 ○:適 △:可 ×:不適

### 2.1.2 硬度

図5に電子部品の加速試験で用いられるPCT\*3条件下(121℃×100%RH, 2atm)での樹脂の硬度変化を示す。汎用樹脂は48時間以内、既存耐久ポリウレタン樹脂(以下、既存耐久樹脂)は300時間以内に溶解するが、EF-568は1,500時間においても溶解しない。このことから、汎用樹脂や既存耐久樹脂よりも耐湿熱性が格段に優れていることが分かる。

### 2.1.3 体積固有抵抗

図6にPCT条件下(121℃×100%RH, 2atm)での樹脂の体積固有抵抗の変化を示す。体積固有抵抗は絶縁性の指標であり、電子部品の電気的な保護のため維持する必要がある。

EF-568は導電性不純物を除去した成分で構成しているため、1,500時間でも体積固有抵抗値( $\Omega \cdot \text{cm}$ )が、10の9乗以上の絶縁性を保持している。

### 2.2 耐冷熱サイクル性

電気製品は地球上のいたるところに設置されるため、低温から高温とさまざまな環境下におかれる可能性がある。一方で、ウレタンなどの樹脂は、種類によっては温度により大きく硬度が変化することがある。このような温度による硬度の変化は電子部品に影響を与えるため、できる限り抑える必要がある。

図7に示すように、EF-568は、汎用樹脂よりも低温時における弾性率(硬度)の変化が緩やかである。このことから、幅広い温度領域下で耐冷熱サイクル性に

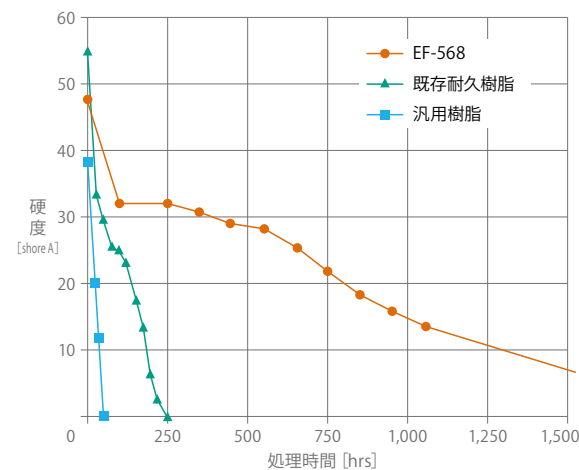


図5 PCTにおける硬度変化

優れており、ハンダへの負荷がかかりにくく、低温域での使用にも適している。

### 2.3 放熱性

電子部品は作動時に熱を発生する。この熱は電子部品自体に影響を与え、動作性能を落とすことが知られている。そこで、電子部品の熱を逃がすために放熱フィンや放熱ファンなどが電気製品に搭載されている。

熱の逃がし易さを評価するために、熱伝導率という指標が用いられている。EF-568の熱伝導率は0.7W/m・Kと、汎用樹脂の0.2W/m・Kと比較して3倍ほど高く、樹脂を注型することにより電子部品の発熱を逃がす効果が期待できる。発熱し、熱がこもるような電子基板向けに適応しやすい樹脂である。

### 2.4 絶縁耐力

低電圧の絶縁性能は絶縁抵抗(体積固有抵抗)の値で定まっている。一方、高電圧の場合は耐電圧や絶縁破壊電圧で規定されている。そのため、用途によっては耐電圧や絶縁破壊電圧の評価である絶縁耐力も樹脂の特性として必要になる。

EF-568は、JET\*4の絶縁耐力試験において、「電気用品に使用される絶縁物の使用温度の上限値」として、厚さ0.5mmで130℃の認証を取得している。

金属製の基板ケースを使用した場合は、電子部品とケース間の絶縁性が求められる。EF-568は薄膜でも高い絶縁性能を備えているため、部材の省略化によるコストダウンが可能となる。

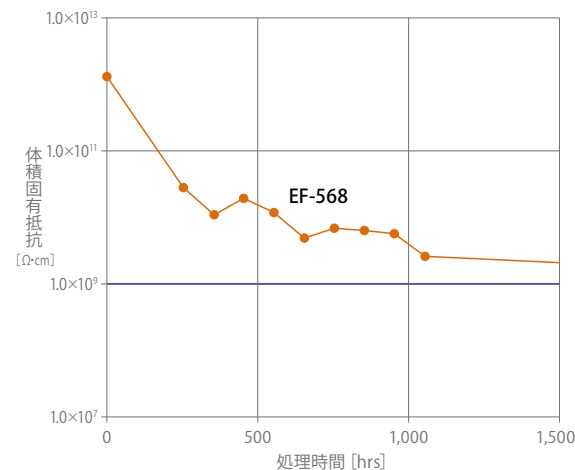


図6 PCTにおける体積固有抵抗変化

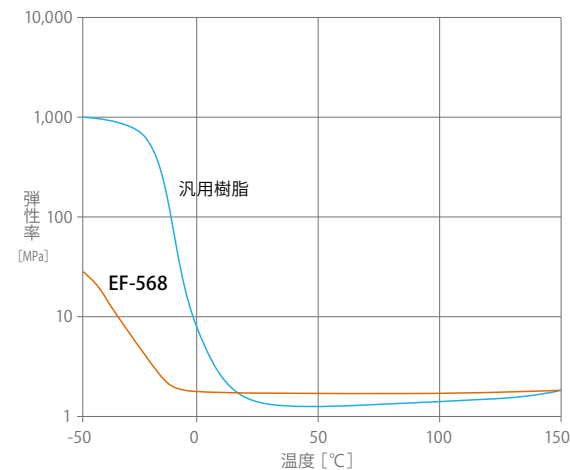


図7 温度による弾性率の変化

### 2.5 作業性

二液混合型ポリウレタン樹脂は使用時にポリオール成分とポリイソシアネート成分の二液を混合する必要がある。その際に重要なことは、樹脂が電子基板のすみずみまで流れる流動性と生産タクトに直結する硬化時間である。

EF-568は混合直後の増粘を抑えることで既存耐久樹脂と比較して流動性が改善している(図8)。その後、加熱により急激に硬化する製品設計を実現している(図9)。この硬化システムにより、既存耐久樹脂では困難であった、大型かつ複雑な電子基板への注型を可能とした。

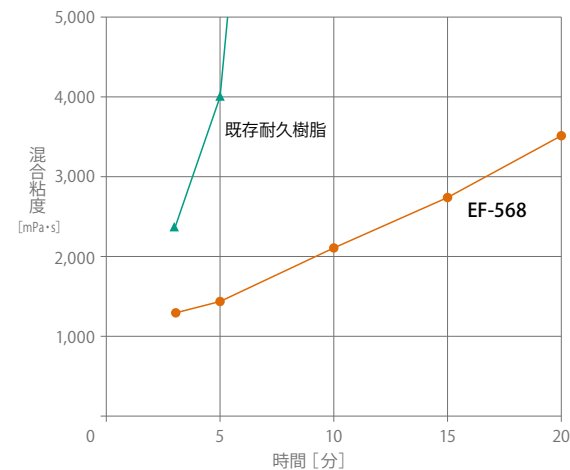


図8 二液混合後の増粘曲線

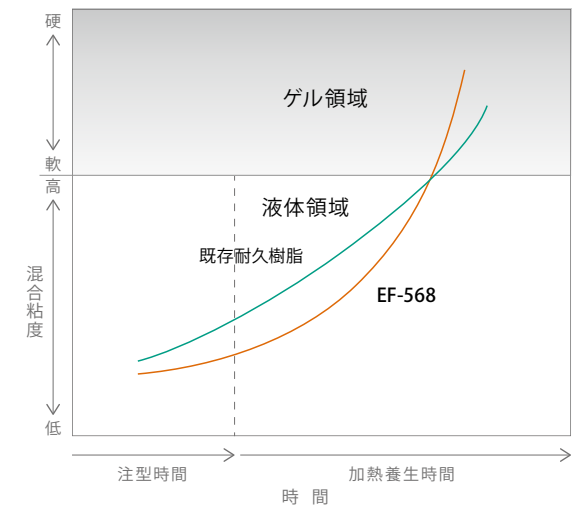


図9 硬化システムの概念図

## 3. おわりに

当社の耐久性に優れた電気絶縁用ポリウレタン樹脂は太陽電池、LED、家庭用燃料電池などの耐用年数の長い用途向けに適しており、これらの分野へ開発を進めている。

今後の技術開発の方向性としては、さらなる耐久性の改良により、耐熱性に優れているシリコン樹脂の代替品や、一層の耐熱性などが求められる自動車やバイクなどの車載分野へ展開していく。

#### 《解説》

- \*1 UL: Underwriters Laboratories Inc. アメリカ保険業者安全試験所
- \*2 UL-94規格: 装置及び器具部品のプラスチック材料可燃性試験で、材料の燃えにくさの度合いを表す規格
- \*3 PCT: Pressure Cooker Test プレッシャー・クッカー試験
- \*4 JET: Japan Electrical Safety & Environment Technology Laboratories 一般財団法人 電気安全環境研究所

#### 《参考文献》

- 1) 2015年版 燃料電池関連技術・市場の将来展望 (富士経済)



藤本 泰範 ふじもと やすのり  
樹脂材料研究所  
ウレタン研究グループ