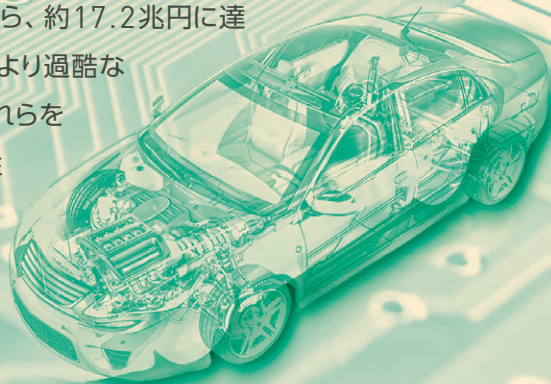


モビリティ技術を支えるウレタン樹脂の開発

浜田 昂 | 研究本部 研究開発部 高性能ウレタングループ

自動運転や電動化技術が進むクルマの車載分野。搭載される電子部品は年々増加しており、制御するECU*も多種多様になってきている。2019年での平均は26.5個だが、2030年には36.4個になると予測されている。市場規模も約9.5兆円から、約17.2兆円に達する見込みである¹⁾。限られた空間に増え続けたEUCは、より過酷な環境下に置かれることが容易に想像できる。そのため、これらを保護するための電気絶縁封止材にも、高い耐熱性と放熱性が求められることになるであろう。本稿では、このような市場背景に伴う課題に対する電気絶縁封止材用ウレタン樹脂の技術を紹介する。

*ECU: Electronic Control Unit = 電子制御ユニット



電気絶縁封止材とは

電子部品は長期的な信頼性が求められるため、熱や水など外的因子から電子部品を保護する必要がある。この信頼性を向上させる技術の一つに体積固有抵抗が $1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の電気絶縁性を持つ液状の樹脂を電子基板に注型、硬化し、電子部品を封止する方法がある。この手法に用いる材料を、電気絶縁封止材と呼ぶ。この封止材は、外的因子から電子基板を保護する役割だけでなく、電子部品の発火を抑制するための難燃性や電子部品の熱ストレス低減のための放熱性などが必要である。封止材に使用される樹脂として

はエポキシ樹脂やシリコン樹脂、ウレタン樹脂などがあり、一般的には表1のような特徴により、使用環境や要求性能により樹脂の使い分けがされている。

電気絶縁封止材用ウレタン樹脂

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、一般的にポリオールとポリ

イソシアネートを重付加反応して得られる。封止材としてのウレタン樹脂は、ポリオール成分とポリイソシアネート成分の2つの液を混合し、電子基板の入った基板ケースに注型した後、硬化させてウレタン樹脂となる(図1)。ウレタン樹脂の基本構造は(図2)の通りであり、ソフトセグメントとハードセグメントを任意に導入できる特徴を生かして、さまざまな要求

表1 代表的な封止材の特徴 (◎=優、○=良、△=可、×=不可)

材料種類	エポキシ樹脂	シリコン樹脂	ウレタン樹脂
硬さ	硬い	柔らかい	柔らかい
耐熱性	◎	◎	○
耐寒性	△	◎	◎
密着性	◎	△	○
透湿性	○	△	○
低分子シロキサン	○	×	○

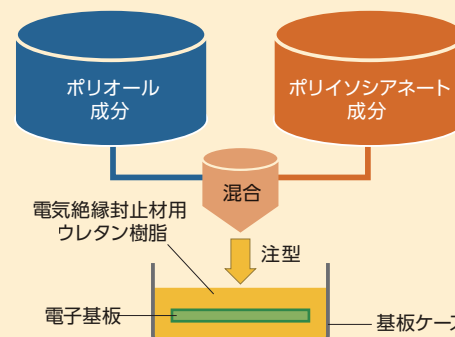


図1 ウレタン樹脂の基板への注型方法

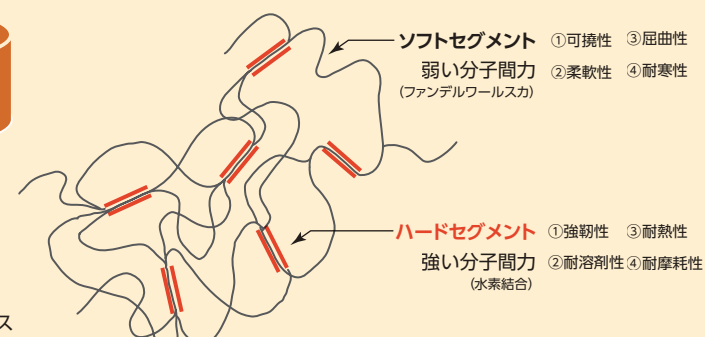


図2 ウレタン樹脂の基本構造

特性を満たす可能性を有する材料である。特に車載向けの電気絶縁封止材用ウレタン樹脂は次のような特性が必要とされる。

- ①作業性: 電子基板へ注型する際の封止材の液流れ性と、生産の効率に直結する硬化性が重要である。
- ②耐熱性: 電子部品はその使用環境条件に耐えるとともに、長年にわたる信頼性が求められるため、高い耐熱性が要求される。
- ③放熱性: 電子部品は小型・軽量・薄型化が進んでおり、高速かつ大容量の情報処理が可能となっている。そのため、電子部品からの発熱量は増加する傾向にあることから、熱を電子部品から

逃がすといった熱マネジメントの重要性も高まっている。

そのほか、電気絶縁性保持、低弾性率および低温下での低弾性率保持、難燃性、耐湿熱性などが必要とされる。

当社の電気絶縁封止材用ウレタン樹脂

当社の電気絶縁封止材用ウレタン樹脂は、電子部品の要求に応じて、各種ウレタン樹脂設計の最適化を図ることで多様な機能を両立させている。その機能の中でも封止材として特に重要視される作業性、耐熱性、放熱性の取り組みについて述べる。

作業性へのアプローチ

作業性の指標としては混合液の流動性と硬化時間がある。混合液の流動性は、封止材が注型時に複雑な形状の電子基板のすみずみまで入り込む重要な特性である。硬化時間は加熱養生により、液体領域から

ゲル領域へと変化する時間であり、生産の効率に直結する特性である。この際に重要なことは、流動性と硬化時間の両立である。図3の硬化システム概念図で示すように、一般的な硬化挙動は、液体領域から増粘を伴ってゲル領域に至る。そのため、注型時間では混合粘度が低く高流動性で、また加熱養生時間にはただちにゲル領域に至るような材料は、流し込み時間や硬化時間の短縮が可能となり、作業性が良好であるといえる。

流動性

流動性は注型時間中のポリオール成分とポリイソシアネート成分の混合液の混合粘度の変化で判定をしている。混合粘度の変化を、当社の封止材A、Bを用いて説明する。

封止材AとBの室温下における混合粘度の推移を図4に示す。A、Bともに、室温下、ポリオール成分とポリイソシアネート成分の混合直後の混合粘度は、

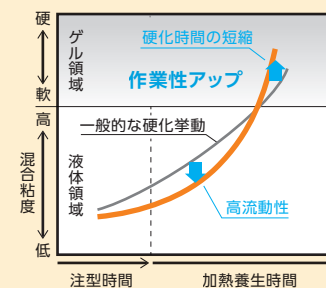


図3 硬化システム概念図

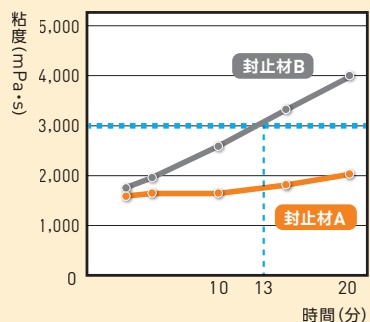


図4 混合粘度の推移



図5 液流動性試験

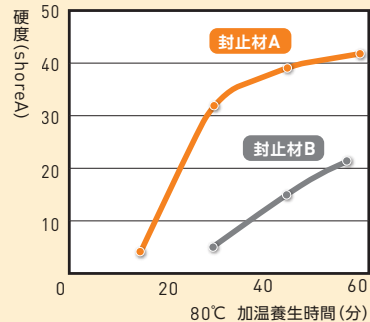


図6 加温養生時間と硬度発現

注型ができる粘度領域である3,000mPa·s以下である。時間の経過とともに封止材Bの粘度は上昇し13分では3,000mPa·sを超えた。しかしAは20分を経過しても上昇が抑えられている。図5で示すように、液の流動性を比較するためのモデル実験結果においても、封止材Aでは液流動性が良好であり、すみずみまで樹脂が行き渡り、大面積を完全に封止することができた。

判定する。図6に封止材AとBの80°Cにおける加温養生時間中のポリオール成分とポリイソシアネート成分の混合物の硬度発現を示す。封止材AはBに比べてより早く硬度が発現しており、加温養生の時間の短縮が期待できる。このように流動性と硬化時間による作業性の評価により、お客さまへ最適な条件の硬化システムを提案することができる。

封止材Cと封止材Dの120°C高温放置時の評価結果を図7、図8に示す。

図7に示すように、封止材C、D共に120°Cの高温下に放置されていても封止材の電気絶縁性が維持されていることがわかる。

一方、図8に示すように硬度変化においては、封止材Dは硬度が徐々に増加していくのに対し、Cは硬度がほとんど変化していない。一般的に、高温放置下で硬度が高くなる封止材は、電子部品に対するひずみ(応力)が硬度の増加とともに大きくなり、部品へのストレスを発生させ故障の原因となることが知られている。また逆に硬度が下がる場合

▼ 硬化時間

硬化時間は加温養生時間中のポリオール成分とポリイソシアネート成分の混合物が一定の硬度を発現するまでの時間にて

耐熱性へのアプローチ

当社における耐熱性の指標として120°Cでの封止材の体積固有抵抗変化と硬度変化で判定している。一例として、当社の封

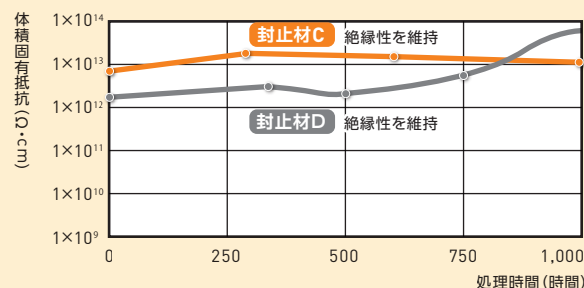


図7 120°C耐熱性試験(体積固有抵抗変化)

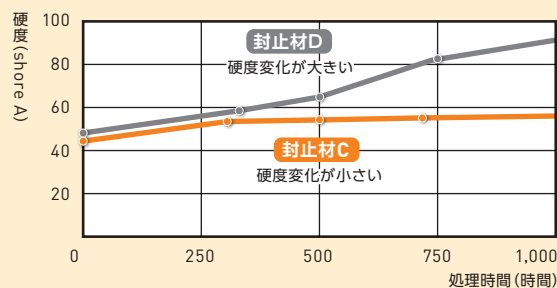


図8 120°C耐熱性試験(硬度変化)

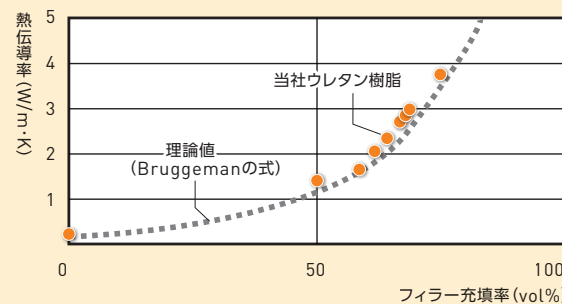


図9 フィラー充填率と熱伝導率の関係

は、封止材が持つ外部因子に対する保護性能の低下へとつながるため硬度変化が少ないことが求められる。このことから、封止材Cは硬度変化が少なく耐熱性に優れた封止材であると言える。

放熱性へのアプローチ

放熱性は熱伝導率を指標として用いている。熱伝導率は一般的なウレタン樹脂の場合、0.2W/m·Kであるが、熱伝導率の高いアルミナ(Al₂O₃:熱伝導率30W/m·K)、チツ化ホウ素(BN:熱伝導率60W/m·K)のようなフィラーを、封止材へ充填することで相対的に熱伝導率を高めることができる。

図9にウレタン樹脂へアルミナの充填量を変動させた場合の熱伝導率の推移を示す。封止材の熱伝導率は熱伝導性フィラーおよび樹脂の熱伝導率とその配合比率で決まる。Bruggemanの式から算出される理論値の通り、フィラーの充填率を上げるに

従って、熱伝導率も上がる結果となった。

しかし図10で示すように、フィラー充填量を高めた場合、混合粘度が高くなり、注型ができる粘度域である3,000mPa·s以下から外れてくる。熱伝導率を1W/m·Kまで上げた場合、混合粘度が著しく高くなるため、注型の作業性が低下し、放熱性との両立ができない。このことから当社では、放熱性と作業性を両立した硬化システムを提案している。

おわりに

ウレタン樹脂は幅広い使用環境に適用でき、柔軟な材料であることから電子部品へのダメージを少なくできるといった、電子基板の電気絶縁封止材として優れた特徴を持っている。その中で本稿では車載向けの電気絶縁封止材用ウレタン樹脂の開発において、作業性、耐熱性、放熱性に対するの当社アプローチを

紹介した。

今後の開発においては、界面活性剤メーカーとしての知見を生かして、さらなる分散剤の最適化を行い、熱伝導率と流動性の向上により、さらに要求が高まる放熱性部材に適したウレタン樹脂の開発を目指す。

また、低分子シロキサンフリーの求められる分野でのウレタン樹脂の開発を進めていき、当社の電気絶縁封止材用ウレタン樹脂が社会に役立てるよう研究努力をしていく。



浜田 昂
主任研究員
研究本部 研究開発部
高性能ウレタングループ

参考文献

- 1) 車載電装デバイス&コンポーネンツ総調査2020下巻 (株)富士キメラ総研
- 2) 2019年 熱制御・放熱部材市場の現状と新用途展開 (株)富士経済
- 3) 半導体封止樹脂の高信頼性化 技術情報協会