

電力用モールド機器向け 植物油由来エポキシ樹脂の開発

大竹 美佳
Mika Ohtake

山下 太郎
Taro Yamashita

小川 賢治
Kenji Ogawa

平野 一美
Kazumi Hirano

1 はじめに

低炭素社会の実現に向け、CO₂の排出抑制や石油資源の使用量節減につながる技術開発が、様々な分野において積極的に進められている。例えば、電力分野では、多くの電力機器に絶縁媒体として用いられているSF₆ガスに温室効果があるため、その使用量の節減が責務となっている。東光高岳においても、SF₆ガスの代替を実現すべく、電力用モールド機器の絶縁材料であるエポキシ樹脂の適用拡大を目的とした高性能化に取り組んできた⁽¹⁾。また、電力用モールド機器の更なるグリーン化の実現を目指し、材料そのものが環境負荷低減に貢献する、バイオマス資源をベースとした植物油由来エポキシ樹脂の開発を推進している。本稿では、植物油由来エポキシ樹脂の課題であった成形プロセス性と耐サーマルショック性の両立を試みたので報告する。

2 バイオマス資源による環境負荷低減

バイオマスとは一般に「再生可能な生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」と定義されている。バイオマス資源の利用によるカーボンニュートラルの概念を図1に示す。バイオマス資源はその成長過程でCO₂を吸収することから、CO₂の増加を抑制できる。また、石油や鉱物等の枯渇資源と異なり、繰り返し生産可能な再生資源であり、生産地域も限定されない等の特長を有する。そのため、バイオマス資源を活用した燃料や熱可塑性樹脂の研究開発やその実用化が積極的に展開されている⁽²⁾。

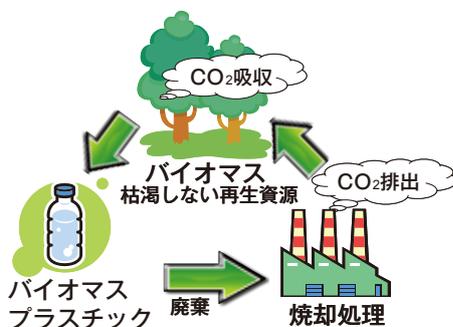


図1 カarbonニュートラルの概念

一方、電力機器用エポキシ樹脂を含む熱硬化性樹脂には熱可塑性樹脂に比べて要求される機械強度や耐熱性等の特性レベルが高く、バイオマス資源への代替のハードルが高いためか、活発な取組みがなされていない。しかし、電力用モールド機器は比較的大型で樹脂ボリュームを有するため、バイオマス資源を適用することができれば環境負荷低減への効果は大きい。一般に電力機器用エポキシ樹脂はエポキシ主剤、硬化剤、石英等のフィラーで主に構成されており、石油由来原料であるエポキシ主剤や硬化剤をバイオマス資源に代替することで、CO₂の排出抑制が期待できる。

3 電力用モールド機器適用への鍵

エポキシ樹脂主剤の代替として、東光高岳はこれまでに植物油の脂肪酸の不飽和部位をエポキシ化した数種類のエポキシ化植物油⁽³⁾を対象としてその有用性を検討してきた。その結果、エポキシ化亜麻仁油を主剤、酸無水物を硬化剤としたエポキシ樹脂(以下、酸無水物系亜麻仁油樹脂)は、長年実績のある電力機器用エポキシ樹脂(以下、現行樹脂)と比較して、機械強度および耐熱性がやや劣るものの、電気絶縁性は同等レベルであり、実用可能な材料特性を有していることを明らかにした⁽⁴⁾。また、熱的特性が異なる金属やセラミック等の内蔵物と一体成形する電力用モールド機器への適用においては、異種材料との適合性、特に耐サーマルショック性が重要となるため、その性能向上を図った⁽⁵⁾。しかし、耐サーマルショック性の向上化アプローチとして、線膨張係数の低いフィラーを高充填することに加え、低温で長時間の硬化プロセスが必要となり、成形プロセスの改善が適用を図る上で鍵となっていた。

4 ノボラック型フェノール樹脂の適用

ノボラック型フェノール樹脂は半導体封止分野でエポキシ樹脂の硬化剤として多く適用されており、硬化時間を短くコントロールできる。また、他のエポキシ樹脂硬化剤と比較して、硬化物の架橋密度が高まり、耐熱性に優れ

る。そこで、硬化剤にノボラック型フェノール樹脂の適用を試みた。

フェノール系硬化剤の配合量は、エポキシ化亜麻仁油のエポキシ当量に対する水酸基当量から決定した。フィラーは注型可能な樹脂粘度を基準とし、球状溶融石英を最大限配合した（以下、本配合硬化物をフェノール系亜麻仁油樹脂と表記）。フェノール系亜麻仁油樹脂と比較対象である酸無水物系亜麻仁油樹脂および現行樹脂の組成と成形プロセス条件を表1に示す。成形プロセス条件は徐冷を含めた硬化時間が現行樹脂と同等レベルになることを目標に、ゲル化までの反応性を事前に検証して決定した。

表1 各樹脂の組成と成形プロセス条件

		フェノール系 亜麻仁油樹脂	酸無水物系 亜麻仁油樹脂	現行樹脂 (石油由来)
材料	主剤	エポキシ化 亜麻仁油	エポキシ化 亜麻仁油	ビスフェノールA型 エポキシ樹脂
	硬化剤	ノボラック型 フェノール樹脂	酸無水物	酸無水物
	フィラー	溶融石英	溶融石英	結晶性石英
バイオマス比率 (樹脂成分)		62wt%	53wt%	0wt%
成形 プロセス 条件	硬化温度	120℃	80℃~100℃	80℃~130℃
	硬化時間 (徐冷を含む)	62h	121h	58h

耐サーマルショック性、曲げ強度、ガラス転移温度、線膨張係数および絶縁破壊強さを表2に示す。耐サーマルショック性と絶縁破壊強さを除く表中の値は、酸無水物系亜麻仁油樹脂の値で基準化して表記した。

表2 植物油由来エポキシ樹脂の材料特性

	フェノール系 亜麻仁油樹脂	酸無水物系 亜麻仁油樹脂	現行樹脂 (石油由来)
耐サーマルショック性	0℃⇔100℃で クラック発生	-10℃⇔100℃で クラック発生	0℃⇔100℃で クラック発生
曲げ強度	1.1	1	1.3
ガラス転移温度	1.1	1	1.5
線膨張係数	1.0	1	1.0
絶縁破壊強さ (kV/mm)	20以上	-	20以上

耐サーマルショック性はJIS法をベースとした社内標準の液相冷熱試験法¹⁾で評価を行った。耐サーマルショック性に優れた樹脂を簡便かつ短時間で評価するため、過酷な試験条件を採用している。フェノール系亜麻仁油樹脂は耐サーマルショック性を維持しながら、現行樹脂と同レベルの硬化温度に引き上げることができ、酸無水物系亜麻仁油樹脂に対し、硬化時間を50%程度に短縮することができる。また、曲げ強度やガラス転移温度は酸無水物系亜麻仁油樹脂と同等レベルであり、絶縁破壊強さも現行樹脂と同等レベルであることから、電力機器用エポキシ樹脂として有望であることがわかる。

5 まとめ

植物油由来エポキシ樹脂の硬化剤としてノボラック型フェノール樹脂を適用することで、従来の植物油由来エポキシ樹脂と同等の性能を維持しながら、課題であった硬化時間を現行の電力用エポキシ樹脂と同等レベルまで短縮することができた。すなわち、ノボラック型フェノール樹脂を適用することによって成形プロセス性と耐サーマルショック性の両立が達成され、植物油由来エポキシ樹脂の電力用モールド機器への適用可能性が確認できた。

今後は硬化剤についてもバイオマス資源に由来する材料を選定し、樹脂成分中の再生可能資源由来比率をより高める材料開発を推進していきたい。

■参考文献

(1) 山下太郎 他：「電力機器用エポキシ樹脂の耐サーマルショック性向上」, マテリアルライフ学会誌, Vol.23, No.1, PP.33-40 (2011)

(2) 八百健二 他：「バイオマス樹脂材料技術」富士ゼロックステクニカルレポートNo.17 pp.38-47(2007)

(3) 宇山浩：「植物油脂を基礎とするバイオベース高分子材料の開発」, エポキシ樹脂技術協会第38期第3回特別講演会(2010)

(4) 大竹美佳 他：「環境負荷低減を目的とした植物油由来エポキシ樹脂の電力用モールド機器への適用性検討」, 東光電気技報No.18(2013)

(5) 大竹美佳 他：「植物油由来エポキシ樹脂の電力用モールド機器への適用に向けた耐サーマルショック性向上」, 東光高岳技報No.1(2014)



大竹 美佳

技術開発本部
技術研究所
材料技術グループ 所属
エポキシモールド樹脂の研究に従事



山下 太郎

技術開発本部
技術研究所
材料技術グループ 所属
エポキシモールド樹脂の研究に従事



小川 賢治

技術開発本部
技術研究所
材料技術グループ 所属
エポキシモールド樹脂の研究に従事



平野 一美

東京理科大学大学院非常勤講師
一般社団法人 日本機械学会フェロー
専門：先端材料工学 破壊力学, 材料強度学, 構造・機能融合設計, 構造健全評価
工学博士