

## 博士論文審査の結果の要旨

氏名	HU, BAOJI
学位名	博士（工学）
学位番号	甲 第 794 号
論文題目	Study on the functionality of thermoplastic epoxy and its applications (熱可塑性エポキシの機能性とその応用に関する研究)
論文審査委員	主査 夏木 俊明 KIM KYOUNG HOU 坂口 明男 FU SHAOYUN (重慶大学, 中国)

(博士論文審査の結果の要旨)

本学位論文は、熱可塑性エポキシ樹脂を用いて、材料の形状記憶性、形状記憶フィラメントの開発と応用展開を検討したものである。主な研究成果は以下に示す。

### (1) 形状記憶性に優れた熱作動熱可塑性エポキシフィラメントの開発

エポキシ樹脂とフェノールモノマーからなるエポキシ樹脂混合物を用いて重合反応により熱可塑性エポキシポリマーを調製し、形状記憶熱可塑性エポキシフィラメントを熔融延伸プロセスで初めて開発に成功した。開発した形状記憶熱可塑性エポキシフィラメントの降伏応力は 63 MPa に達し、形状固定率 97%，形状回復率 97%以上、優れた形状記憶性能を有することを示された。また、フィラメントの化学構造、熱性能および動的機械特性を解析し、形状回復応力は熱可塑性エポキシフィルムの 5 倍以上であり、人工筋肉やスマートテキスタイルの分野で大きな応用が期待される。

### (2) PEG による熱・機械的特性の調整、自己修復機能

熱可塑性エポキシ樹脂の応用範囲を拡大するため、PEG (polyethylene glycol) を分散させて熱的、機械的性質を有するエポキシ/ポリエチレングリコール膜材料を作製し、多機能形状記憶特性を調べた。PEG 比が異なるエポキシ/PEG 膜は、形状回復率が 92%から 100%の優れた形状記憶特性を有し、PEG 添加量によるエポキシ/PEG フィルムの Tg 温度調節が可能となり、熱刺激温度を種々の要求条件を満たすようにコントロールすることもできた。PEG 含有量を増加させることにより、ヒト皮膚温度応答、自己修復及び加熱ベースの接着機能を備えた形状記憶効果を達成することができ、形状記憶と柔軟なスマート材料の分野でより大きな応用可能性が示された。

### (3) 制御可能な熱刺激温度を有する形状記憶熱可塑性エポキシフィラメントの開発

上記 (1), (2) の研究結果に基づき、さらに熱刺激温度制御可能な新規形状記憶熱可塑性エポキシフィラメントの開発を初めて成功した。形状記憶機能の熱刺激制御を付与した。PEG 修飾により熱可塑性エポキシの Tg を調節でき、熔融紡糸温度も 300°C から 220°C まで減少し、紡糸効果が向上した。開発された PEG 修飾熱可塑性エポキシフィラメントは、高い形状回復率 93.1%～99.0%の優れた形状記憶効果を有し、95.8%から 99.1%までの形状固定率を示し、回復応力は 1.77 MPa まで増加した。形状記憶機能の熱刺激制御可能な PEG 修飾熱可塑性エポキシフィラメントは

優れた熱作動能力を発揮した。

以上のことから、本学位論文は、熱可塑性エポキシ形状記憶フィラメントの開発から、分散 PEG による形状記憶を含む多機能エポキシの開発、さらに熱制御可能な形状記憶エポキシフィラメントの開発と応用について述べた。また、PEG 含有量の調整により熱可塑性エポキシは、剛直から柔軟性まで変化し、ヒトの皮膚温度応答、自己治癒、接着性能を有する形状記憶を示し、熱作動性、スマート織物、人工筋肉における産業的な価値について十分に示した。

以上を総合して、本学位論文の学術的価値及び工学応用に対する有用性が認められ、審査委員全委員一致して博士学位論文に値すると判断した。また、本論文は熱可塑性エポキシ樹脂を用いて、材料の形状記憶性、形状記憶フィラメントの開発と応用展開を検討したものであり、工学分野における応用展開が大きく期待される。その研究内容は博士（工学）の学位論文として十分価値があると判断する。

（公表主要論文名）

[1] Baoji Hu, Hong Xia, Fan Liu, Qing-Qing Ni. Development of thermoplastic epoxy filaments with shape memory properties. *Polymer Testing*, 103:107374(November 2021)

[2] Baoji Hu, Hong Xia, Fan Liu, Qing-Qing Ni. Heat-stimuli controllability of shape memory thermoplastic epoxy filaments by adding polyethylene glycol. *Polymer*, 250:124818(26 May 2022)