

氏 名（本 籍 地）	Hsing-Ying Tsai
学 位 の 種 類	博 士（工学）
学 位 記 番 号	博 甲 第 9797 号
学位授与年月日	令和 3年 3月 25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審 査 研 究 科	数理物質科学研究科
学 位 論 文 題 目	Study on epoxy resin with dynamic covalent bonding for environmentally friendly structural materials (環境調和型構造材料としての動的共有結合を有するエポキシ樹脂に関する研究)
主 査	筑波大学 教授(連係大学院) 博士(工学) 内藤 昌信
副 査	筑波大学 教授 博士(理学) 山本 洋平
副 査	筑波大学 教授(連係大学院) 博士(工学) 竹内 正之
副 査	筑波大学 准教授(連係大学院) 博士(理学) 袖山 慶太郎

論 文 の 要 旨

本学位論文は、6 章から構成されている。1章では、全体構成を述べつつ、本学位論文研究の目的及び意義について説明がなされている。2 章では、熱硬化性樹脂の化学構造の特徴、成形加工方法、及び熱物性、機械特性および接着特性について述べられている。さらには、関連文献の調査を踏まえながら、本研究で取り上げる動的共有結合、特にジスルフィド結合型動的共有結合の特徴についてまとめている。3章では、ジスルフィド型動的共有結合を導入したエポキシ接着剤の接着強度の温度依存性を調査した結果、高温域で接着力が向上するという発見にはじまり、動的共有結合の熱物性をガラス転移温度とボロジ凍結転移温度の視点で整理し、高温領域で接着力が向上する現象についての物理化学的な考察がされている。さらに 4 章では、熱硬化性樹脂が引き起こす環境負荷の解決に向け、ジスルフィド型エポキシ樹脂をチオール含有トリペプチドであるグルタチオンを用いて温和な条件で生分解することに成功している。5 章においては、このジスルフィド型エポキシ樹脂を炭素繊維強化プラスチック(CFRP)に適用することで、CFRP の分解、さらには回収したエポキシを再利用することで CFRP を再形成することにも成功した。最後に 6 章では、本研究の成果を総括するとともに、本研究の将来展望について述べている。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

熱硬化樹脂は、構造材料をはじめ、産業上極めて重要な高分子材料である。特に、熱的安定性に優れ

るところが、信頼性や長期耐久性の観点からも魅力となってきた。一方で、マイクロプラスチックに代表される使用済み樹脂がもたらす環境負荷問題は、近年大きく取り上げられ始めている。そのため、使用時には安定な化学的・機械的特性を保持し、一方で、不要時には容易にリサイクル可能となるような機械・力学特性と環境調和性を両立した材料設計指針の確立が求められている。本学位論文研究では、熱硬化性樹脂の代表例であるエポキシ樹脂の高分子網目中に動的共有結合で知られるジスルフィド結合を導入したエポキシ樹脂を用い、種々の条件下における接着特性の解明と、さらには、穏和な条件でリサイクルするための手法開発に取り組んだ。特に、3章では、ジスルフィド結合含有エポキシ樹脂の熱物性をガラス転移温度とトポロジー凍結転移温度の関係で整理し、その中から、これまでの熱硬化性樹脂には見られない高温温度域における接着強度向上現象を見出した。4章において、チオール含有トリペプチドであるグルタチオン水溶液中に、ジスルフィド含有エポキシ樹脂を分散することで、容易に生分解できることを見出している。さらに5章においては、当該エポキシ樹脂を用いて炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を作成し、グルタチオンによる生分解および、回収したエポキシ残渣から新たに CFRP を成形加工できることを見出し、本手法の実用化レベルでの有用性を実証した。本学位研究で得られた知見は、単にエポキシ接着剤に限定されるものでなく、高分子系複合材料の再利用に関する一般的な設計指針を与えるものである。また、熱硬化性樹脂であるエポキシ樹脂の生分解については前例がなく、再生可能樹脂の設計指針を新たに提言したことでも評価である。以上の評価結果から、本学位論文の成果は、博士(工学)を授与するに十分なものと判断する。

〔最終試験結果〕

令和3年2月19日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。