

氏名	曾山 誠
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博甲第 8316 号
学位授与年月日	平成 29 年 4 月 30 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	Enhancement of flame retardancy and mechanical strength of environmentally friendly plastics for use in electronics (環境調和性に優れた電子機器用プラスチックの難燃化と高強度化)
主査	筑波大学 教授(連携大学院) 博士(工学) 位地 正年
副査	筑波大学 教授 理学博士 中村 潤児
副査	筑波大学 教授 理学博士 齋藤 一弥
副査	筑波大学 教授 工学博士 鍋島 達弥
副査	筑波大学 教授 博士(学術) 都倉 康弘
副査	筑波大学 准教授(連携大学院)博士(工学) 山本 剛

## 論 文 の 要 旨

本審査論文では、電子機器用のプラスチックを対象に、環境調和性と高機能性の両立を目標として、石油由来のプラスチックの低環境負荷での難燃化、さらに、石油資源の枯渇対策や CO<sub>2</sub> 削減に寄与する植物由来のバイオプラスチックの高強度化と難燃化に関する研究について記述されている。

第一章の序論では、電子機器に使用されているプラスチックによる環境問題として、有害なハロゲン系難燃剤の使用による燃焼時の環境負荷や、原料として石油の利用による資源枯渇について示している。これに対して、ハロゲンを含まない代替難燃剤の使用によるプラスチックの強度等の機能性の低下や、再生可能な植物資源を利用したバイオプラスチックの強度や難燃性の不足など、現在、研究開発されているプラスチックでは、環境調和性と機能が両立されていないという課題があり、本研究はこの課題の解決を目指して行われたことを述べている。

第二章においては、電子機器外装や電子部品に使用されている石油由来のプラスチックに対して、本研究で著者が行った安全性の高い難燃剤を使った難燃化技術の開発について示している。外装用のポリカーボネートにおいて、火力発電所から副生される微粒の石炭灰(フライアッシュ)の添加により、高度な難燃性を達成し、さらに、この難燃化機構についても検討を加え、フライアッシュ表面の水酸基によるポリカーボネートの炭化促進の可能性を示している。また、電子部品封止材として用いられているフェノールビフェニレン型エポキシ樹脂に対して、燃焼時に窒素系不燃ガスを発生する新しい発泡剤として、トリアジ

ン含有フェノールビフェニレン樹脂を合成し、この添加による難燃性と耐熱性などの改良効果を検証している。

第三章においては、非食用の植物資源を利用したカルダノール結合セルロース樹脂に対して、ポリオレフィン、変性シリコーン、および、柔軟なポリエステルの添加による衝撃強度などの力学特性の改良効果を示している。さらに、これらの衝撃強度改良の機構について検討し、本樹脂のせん断変形の促進が主な原因であることを明らかにしている。加えて、このポリエステルとガラス繊維を添加したセルロース樹脂複合材料に対して、安全性の高い難燃剤として、金属水酸化物と有機リン化合物の併用によって、電子機器の外装材に利用できるレベルの高度な難燃性、強度、および耐熱性を実現できることを示している。

第四章の結論では、電子機器用プラスチックの環境調和性と機能性の両立という課題に対して、第二章と第三章で述べた本研究の成果をまとめている。すなわち、石油系プラスチックに対する産業副生物のフライアッシュや新構造の発泡成分の難燃効果を明らかにし、さらに、今後重要となる非食用の植物資源を利用したバイオプラスチックに対して、特定構造の安全な添加成分の利用により、強度や難燃性などの機能性を向上できたことを述べている。そして最後に、本研究成果が電子機器用プラスチックの環境対策の推進に寄与できることを示している。

## 審 査 の 要 旨

〔批評〕

本論文では、電子機器に利用されるプラスチックの環境調和性と機能性の両立という、本分野での重要な研究課題に対して、安全性の高い産業副生物や特定の添加成分を使うことによりこの解決を目指した著者の研究の成果が述べられている。すなわち、産業副生物のフライアッシュや新構造の発泡成分の利用による石油系プラスチックの高度な難燃化、さらに、非食用植物資源を使ったセルロース系バイオプラスチックに対する特定構造のポリマーや無機成分の添加による強度、難燃性などの高機能性の実現に関する成果が示されている。また、これらのプラスチック複合材料における機能性向上の作用機構を、それぞれのポリマーと添加成分の分子構造や表面の化学的構造に基づいて検討し、主な機構を明らかにしている。電子機器などの製品分野でのプラスチックの開発では、機能性の達成が最重視される傾向があり、さらに、難燃化や強度向上の作用機構はこれまで十分には検討されていなかった。これに対して本研究では、電子機器用の特定構造のプラスチックを対象として、環境調和性を保持しながら高機能性を実現できる、添加成分との複合化技術を開発し、さらに、これらの特性向上にいたる作用機構の解明を進めたことは重要な成果と認められる。

以上から、本論文では、電子機器用のプラスチックの環境対策と機能性向上の課題に対して、現在の石油系プラスチックや、今後重要となる非食用の植物資源を利用するバイオプラスチックを対象にして、安全性の高い特有な添加成分の利用によって解決できる可能性があることを示し、さらに、これらの主な作用機構も明らかにしているので、研究の取り組みの先進性とともなう学術的な意義は高い。また、開発した

技術は、電子機器用プラスチックに加え、他の分野のプラスチックにも応用できる可能性があるので、環境調和性と利便性を両立する循環型社会の構築に寄与できる研究成果と判断できる。

〔最終試験結果〕

平成29年 3月 9日、数理物質科学研究科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。