

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	セラミックスフィラー添加高分子複合材料の伝熱および絶縁破壊特性に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	曽我宏輔
Author(English)	Kosuke Soga
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10631号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:齊藤 卓志,佐藤 勲,安藤 慎治,野崎 智洋,伏信 一慶
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10631号, Conferred date:2017/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械制御システム	専攻	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	曾我宏輔		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	齊藤卓志	准教授
			指導教員 (副)： Academic Supervisor (sub)	佐藤勲	教授

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「セラミックスフィラー添加高分子複合材料の伝熱および絶縁破壊特性に関する研究」と題し、全6章から構成される。

第1章「緒言」では、高い熱伝導性と優れた電気絶縁性の両立が求められるセラミックスフィラー添加高分子複合材料の現状について概説した後、熱伝導率の向上と絶縁破壊強度の維持が一般には相反関係にあり、材料物性の設計に際し、母材となる高分子材料とフィラーとなるセラミックス材料の組み合わせだけでなく、フィラーの体積分率ならびに鱗片状フィラーの場合にはその形状や配向が重要な因子となることを説明した。その上で、熱伝導率や絶縁破壊挙動を予測する従来モデルの課題を指摘し、フィラー添加された高分子複合材料における熱伝導および絶縁破壊の状況を実験及び数値シミュレーションにより解明し、高い熱伝導率と優れた絶縁破壊強度を両立させるための材料の設計指針の提示を本研究の目的とした。

第2章「フィラーの配向及び形状が熱伝導率へ与える影響」では、複合材料の構造を模擬した系に対する熱伝導率の計算モデルを構築し、実験的に求めた熱伝導率との比較からモデルの妥当性を検証した。その上で、フィラー添加高分子材料の実効的な熱伝導率に与える、フィラー形状、配向、含有率、熱伝導率の影響を定量的に検討した。その結果、フィラー間距離の減少により高分子層を介した熱流パスがフィラー間に形成されるようになり、フィラー同士に物理的な接触が無くとも熱伝導率が変化することから、フィラーの立体的配置の適正化が複合材料の熱伝導率を効率的に向上させるために重要であることを指摘した。

第3章「数値シミュレーションにおける絶縁破壊モデル」では、直流電圧が印加された系での短時間絶縁破壊を数値シミュレーションするため、電界分布および絶縁破壊電圧を求める計算モデルを構築し、異なる予き裂深さを有する高分子フィルムの絶縁破壊電圧測定との比較により、提案モデルの妥当性を検証した。特に、局所絶縁破壊を生じた箇所において、電界強度が一定となるよう誘電率を適正化することで、絶縁破壊電圧を高精度で予測することを可能とした。さらに、解析次元による絶縁破壊強度への影響を検証し、電子顕微鏡観察像などに基づく二次元解析では、実際の三次元的な全路破壊経路が表現できていないことをシミュレーション結果で確認し、次章における複合材料の断面観察像に基づく絶縁破壊強度推定の結果解釈の際に参考とした。

第4章「フィラー添加高分子複合材料の絶縁破壊シミュレーション」では、絶縁破壊起点の探索

および絶縁破壊強度が変化するメカニズム解明するために、実際の複合材料の構造を模擬した系と、フィラー添加高分子複合材料の断面観察像から取得した材料構造の両方に対し、絶縁破壊シミュレーションを実施した。前者の結果として、鱗片状フィラーでは含有率が一定であっても、フィラー配向により絶縁破壊強度が異なり、フィラーが電位勾配方向に配向した場合、フィラー先端における電界強度の増加により局所絶縁破壊が促進され、材料の絶縁破壊強度低下を招くことを明らかにした。一方、後者の結果からは、試料成形時に混入するボイドが絶縁破壊強度低下の主要因であること、ならびに電位勾配方向に連続的に存在するボイド群が絶縁破壊強度を大きく低下させることを明らかにした。

第5章「フィラー添加高分子複合材料の性能向上に向けた指針」では、球状フィラーを添加した複合材料を対象として、フィラーの分散状況の違いが与える熱伝導率および絶縁破壊強度への影響を数値シミュレーションにより推定した。加えて、熱伝導率および絶縁破壊強度を統合的に評価する式を提案し、フィラー添加高分子複合材料の性能を総合的に向上/維持させる分散状況の指針をマップとして提示した。ここでは例えば、フィラーの絶縁破壊強度が樹脂の絶縁破壊強度に近い場合、凝集状フィラーの採用が望ましく、フィラーの絶縁破壊強度が樹脂のそれより大幅に低い場合、フィラーを分散させて用いることが適切であるという指針が示されている。

最後に第6章「結言」では、各章で得られた成果をまとめ、セラミックスフィラーが添加された高分子材料の熱伝導率向上と電気絶縁性維持の両立につながる知見を総括した。

以上を要するに、本論文は電気絶縁性を有する高分子材料に対し、高い熱伝導率を有するセラミックスフィラーを添加した系を対象として、実験および数値シミュレーションを統合的に用いて、熱伝導率向上と電気絶縁性維持の両立を目指す材料開発に資する新たな知見と設計指針を与えており、工学上および工業上貢献するところが大きい。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	機械制御システム	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名 : Student's Name	曾我宏輔		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	齊藤卓志	准教授
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	佐藤勲	教授

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Filler dispersed polymer composite is often used for an electric power device because it has high thermal conductivity and good electric insulation simultaneously. However, the dielectric breakdown voltage of the composite material tends to be lowered by increasing the volume ratio of the ceramic fillers so as to improve the thermal conductivity. Therefore, understanding of the phenomena of heat conduction and dielectric breakdown in the composite material is important to obtain the knowledge for better material design. The thermal conductivity and dielectric breakdown strength of composite is determined by properties of polymer and filler properties, filler content ratio as well as the filler shape and orientation. The conventional methods could not predict the thermal conductivity and dielectric breakdown voltage correctly, because of these methods ignore the interaction between the fillers.

In this study, we proposed a prediction method for heat conduction and dielectric breakdown in the composite to obtain the better material design guidelines. In the proposed method, the thermal conductivity and dielectric breakdown voltage under the structure imitated the real composite material was calculated by numerical simulation, and the simulated results were compared with the experimental results for verification. The obtained results successfully showed that the variation of thermal conductivity and dielectric breakdown reasonably agreed with the experimental results.

According to the results obtained through the numerical simulation, a chart map that can comprehensively consider the balance of thermal conductivity and dielectric strength was introduced. By using the chart map, desirable condition of filler dispersion is easily determined by the ratio of physical properties (thermal conductivity and dielectric breakdown strength) value of the filler and matrix polymer material.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).