

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)	要約
Type(English)	Outline

論文要約

「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」

機械制御システム専攻 曾我宏輔

指導教員（主） 齊藤卓志

指導教員（副） 佐藤 勲

セラミックスフィラー添加高分子複合材料はその高い熱伝導率と電気絶縁性からパワーデバイス周りで使用されている。熱伝導率を上げるためにフィラー添加量を増加すると絶縁破壊強度の低下が起こるため最適な材料設計は難しく、現象の理解が重要となる。しかし、既存の物性の予測式ではフィラー同士の相互作用が考慮されておらず正確に物性を予測することは困難である。そこで、本研究では実験及び数値シミュレーションにより伝熱および絶縁破壊のメカニズムの解明を行った。また、互いに相反性を持つ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。各章の概略を以下にまとめる。

第1章「緒言」では、セラミックスフィラー添加高分子複合材料の現状を概説した後に、熱伝導率や絶縁破壊挙動を予測する従来モデルでの課題を指摘し、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設計指針の提示が本研究の目的であるとした。

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（図1）。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、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。

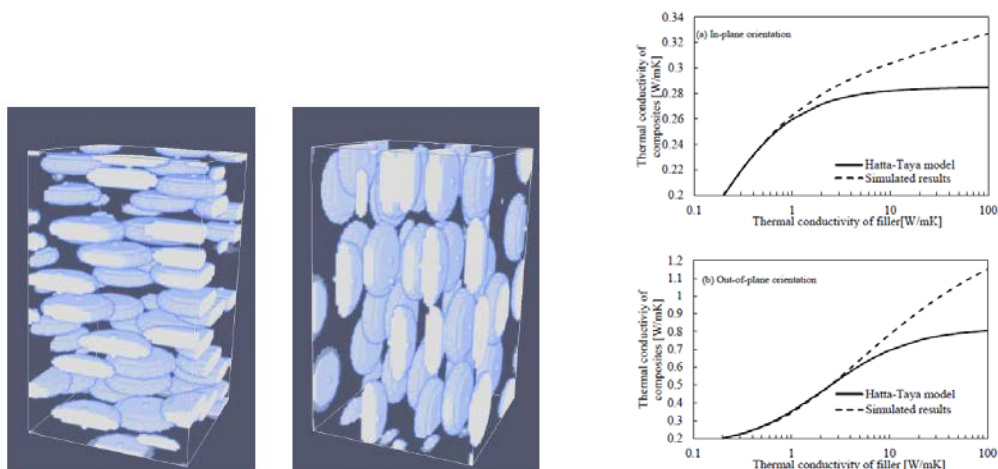


図1 シミュレーションにおける仮想フィラー配置の事例（左）と計算により求められた複合材料の実効的な熱伝導率（右）

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(図2)。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。

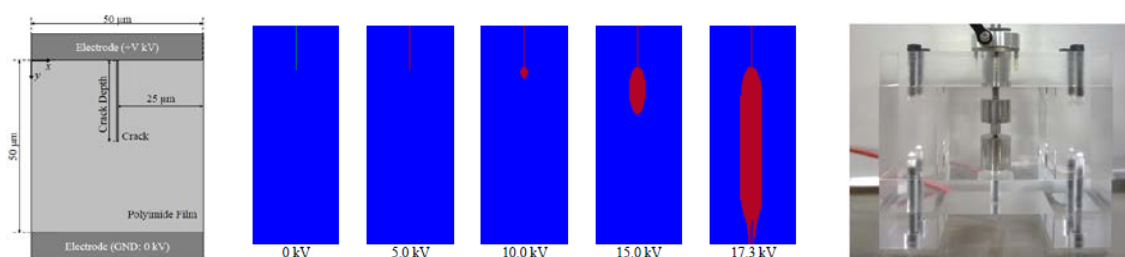


図2 絶縁破壊進展のシミュレーションモデル(左)および結果(中)と実験装置の外観(右)

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(図3)。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。

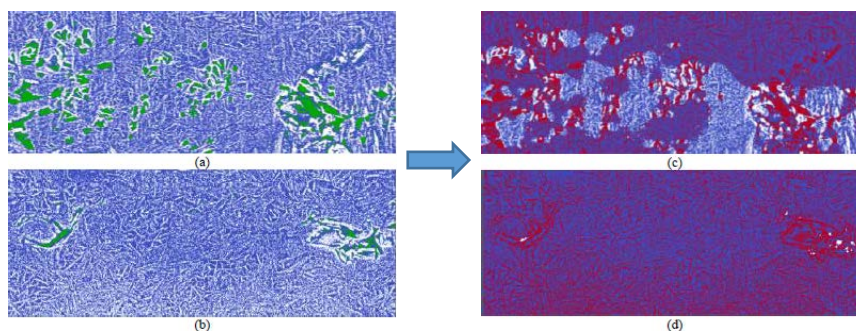


図3 ボイドが多い試料(a)と少ない試料(b)における絶縁破壊箇所のシミュレーション結果((c)および(d))

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。