

静電吸着法を用いた革新的放熱性コンポジット絶縁材料の創生

豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 教授
村上 義信

1. テーマ設定の背景

自動車用パワーモジュールなどあらゆる電気機器において低コスト化による薄板化などの要求からセラミクスに変わる放熱特性と絶縁特性の両方の特性を兼ね備えた新たな材料の開発が急務となっている¹⁾。この種の多くの複合材料は熱硬化性樹脂であるエポキシ樹脂等のベース樹脂と高い放熱特性を示すアルミナ等の無機充填材の機械的混合を基本としている²⁾が、電氣的・機械的弱点部となりやすい充填材粒子の接触などが高い電気絶縁性と高い放熱特性の両立を妨げていることが多い。静電吸着法³⁾に関する特許⁴⁾や独自技術を駆使し、通常、トレードオフの関係となる電気絶縁性と放熱特性の両方を向上させた材料を開発することが本研究の目的である。

2. 素形材分野との関連性

静電吸着法による複合材料は充填剤の周りにポリマー粒子を静電吸着させておき、それらコンポジット粒子を熱プレスすることにより構造を制御した複合材料を作製する(図2)。本材料は熱圧縮して成型されることから素系材そのものであり、混合法では困難な構造制御が容易という特徴を生かして、素形条件が様々な複合材料の特性変

化に与える影響の解明に役立つものと思われる。

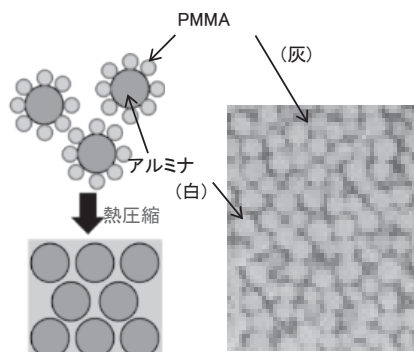


図2 静電吸着法による構造制御例(PMMA/アルミナ)

3. 研究開発の成果

六方晶窒化ホウ素(hBN)の配向制御: 熱伝導異方性のあるhBNの配向を制御するため、静電吸着法を用いた簡便な配向制御方法を開発⁴⁾した(図3)。通常の混合法ではhBNを熱伝導の異方性をなくすため凝集させた凝集hBNが使用されるが、熱伝導にあまり寄与しないhBN部分も含まれるため、凝集hBN含有量が高くてあまり放熱特性は上昇しない。

熱可塑性ポリイミド(tpPI)/配向hBN複合材料: 電気絶縁性と放熱性の高いレベルでの両立を図るため、tpPI/配向hBN複合材料を開発した。両特性は最も要求性能が高い用途に必要な特性を満足

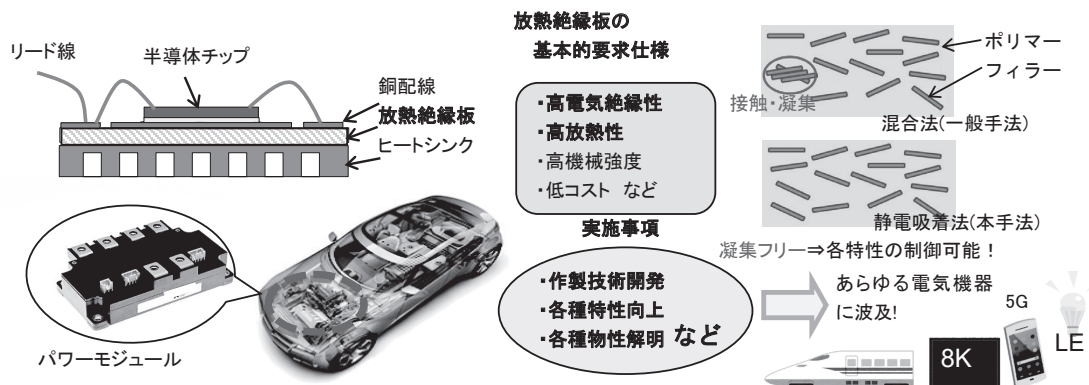


図1 研究背景・波及効果

しており、従来の混合法では実現し得なかった高絶縁・放熱の領域に入っている（図4）。加えて複合材料の耐熱温度も高くすることができた。

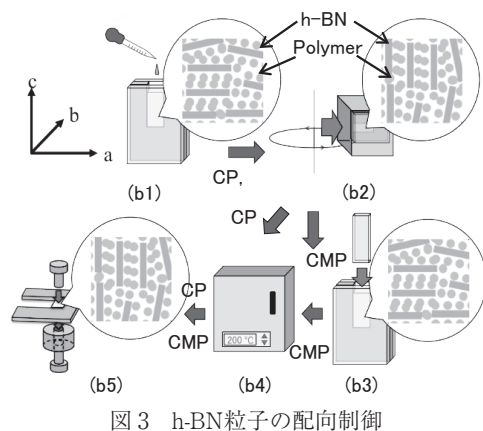


図3 h-BN粒子の配向制御

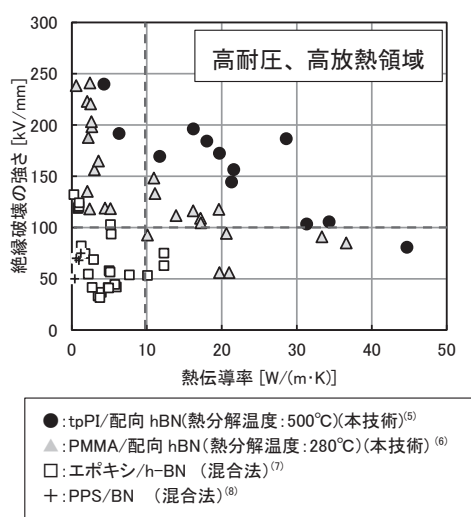


図4 CMP試料の各種特性

4. 訴求点

- ・通常は充填剤と樹脂を混合することにより作られる複合材料を独自技術及び特許を用いて複合材料の構造を制御し、トレードオフの関係がある電気絶縁性と放熱特性を高いレベルでの両立を目指している（図4）ため、本研究はかなり独創性がある。
- ・従来の機械的混合法は基本的にエポキシを初めとする熱硬化性樹脂にしか適用できないが、理論上、静電吸着法は数多くある熱可塑性高分子のすべてに適用でき、放熱コンポジット絶縁材料のみならず、例えば光透過導電性材料など他用途の材料開発に繋がる可能性がある。
- ・従来の混合法では複合材料の熱伝導率を高める

ため、電界や磁界などの外力を用いて熱伝導性充填剤を配向・整列させる試みが多数実施されている。本方法は配向を促すための大掛かりな装置は必要なく、外力では重力等の関係から配向制御が困難な数十マイクロメートルの充填剤も配向させることができ、簡便な方法で優れた特性をもつ複合材料を作製できる。

- ・静電吸着法は特殊かつ高価な装置を必要としないため、コスト低減に寄与する可能性が高く、スケールアップが容易である。
- ・これらの特徴を生かして本研究では比較的簡単なモデルを用いてコンポジット絶縁材料の電荷挙動や熱伝導等のシミュレーションおよび理論的物性値の評価等も実施できるため、学術的な価値が高い。
- ・本方法は唯一実験的に理想に近い構造を実現でき、次々世代の放熱性絶縁板の理想構造を示すことができるため、本研究は先進性がある。

参考文献

- 1) 竹澤吉高：高熱伝導性コンポジット材料，シーエムシー出版，pp.1-2（2011）
- 2) 尾崎多文，他：東芝レビュー，59（7），pp.48-51（2004）
- 3) 武藤浩行，ケミカルエンジニアリング，54（8），pp.47-51（2009）
- 4) 村上義信，他：「複合絶縁板および複合絶縁板の製造方法」，国立大学法人豊橋技術科学大学，特許第7174973号
- 5) Yoshinobu Murakami et al., IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 15（11），pp.1580-1584（2020）
- 6) 宇瀬尚平，他：電気学会論文誌A，136（4），pp.186-192（2016）
- 7) Zengbin Wang et al., IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 18（6），pp.1963-1972（2011）
- 8) X. Huang et al.: IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, 133（3），pp.66-70（2013）