

平成21年 4月30日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760195
 研究課題名(和文) 電気機器用傾斜機能材料(FGM)の高精度作製技術の構築
 研究課題名(英文) Accurate Fabrication Technique of Functionally Graded Material (FGM) for electric power apparatus
 研究代表者
 加藤 克巳 (KATO KATSUMI)
 名古屋大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：20293665

研究成果の概要：

ガス絶縁電力機器のコンパクト化・高機能化を目的として、誘電率を空間的に傾斜させた傾斜機能材料(FGM)の適用を新たに提唱し、このような新材料の高精度作製技術について研究を行った。その結果、硬化前の樹脂に高誘電率のフィラーを添加し、これに遠心力を印加することで、誘電率の傾斜に成功した。さらに、遠心力の印加強度、印加時間、および樹脂の温度やフィラー添加率を変化させることで、あらゆる誘電率傾斜を有する傾斜機能材料の作製が実現できることを実験的に明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	0	2,000,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,000,000	300,000	3,300,000

研究分野：電力工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器工学

キーワード：電気機器、傾斜機能材料

1. 研究開始当初の背景

電気機器においては、近年コンパクト化が進み、それとともに内部電界が上昇する傾向にある。このような背景から、電気機器に使用される電気絶縁材料は、高いストレスでの使用が求められている。電気機器におけるストレスとして、電氣的・熱的・機械的なものが挙げられるが、このうち特に電氣的ストレス(電界)は、長期的に材料の劣化や帯電を引き起こす原因ともなり、機器の寿命を決定する重要な因子とな

る。このことから、機器内部の電界の均一化をはかり、最大電界を可能な限り低下させることで、機器寿命や長期信頼性を低下させることなく、よりコンパクトな電気機器を実現できると考えられる。このような、機器内部電界のコントロール機能を有する電気絶縁材料の開発が求められていた。

2. 研究の目的

傾斜機能材料(FGM)は、材料内部で物理定数を意図的に変化させることにより、スト

レスの集中を緩和させる効果を有する。コンパクト化が進む電気機器・電力機器においては、傾斜機能材料の適用は、特に電気ストレスである電界緩和に有効であることが考えられる。このことから、電気機器における代表的な電気絶縁材料であるエポキシ樹脂において、傾斜機能材料の実現可能性を検討する。特に、このような傾斜機能材料の作製基礎技術の確立をはじめとし、作製再現性の向上・精度向上・効率向上および実機器適用レベルへの発展などが課題としてあげられており、本研究においては、これらの作製上の諸課題について積極的に取り組み、エポキシ樹脂をベースとした電気絶縁材料における傾斜機能材料の基礎作製技術の確立を目的とした。また、得られた傾斜機能材料について、その誘電率分布を実験的に求め、これを適用した場合の電界緩和効果について検証することを目的とした。

3. 研究の方法

図1に、本研究で用いた傾斜機能材料の作製手順について紹介する。通常、電気機器・電力機器においては、硬化前のエポキシ樹脂に、特性向上のためのフィラー（充填材）を混合し、これを硬化させる。通常の電気絶縁材料においては、材料が不均一とならないように、フィラーは樹脂中で均一に分布することが望まれ、そのためにフィラーを配合したエポキシ樹脂は、硬化前に十分攪拌され、その後脱泡を経てから注型し、熱硬化する。

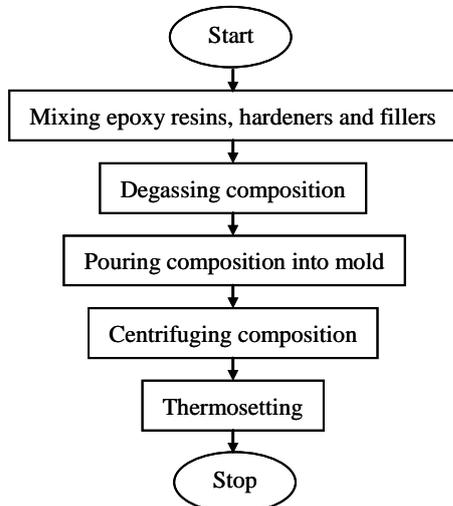


図1 傾斜機能材料の作製手順

これに対して、傾斜機能材料においては、材料特性を均一化するのではなく、意図的に傾斜させる必要があることから、ここでは、作製手順の中で遠心力を付加する方法を適用した。熱硬化前のエポキシ樹脂に、フィラーを混合し、攪拌、脱泡した後、遠心力を印加する。フィラーの比重はエポキシに比べて大

きいため、遠心力によって、フィラーが樹脂内で偏在化し、フィラーの混合率の高い部分と低い部分ができる。エポキシに比べて誘電率の高いフィラーを選定すれば、フィラー混合率の高い部分は誘電率を高く、低い部分は誘電率を低くすることができ、誘電率に関する傾斜機能が実現する。

本研究課題においては、遠心力の付加条件、フィラーの種類、フィラーの粒径、フィラーの初期混合率を様々に変化させた場合に、フィラー偏在化の様子がどのように変化するかを実験的に求めた。これらの実験データを元に、傾斜機能材料を作製する場合の作製条件に関するデータをまとめた。また、電極と絶縁材料の界面における電界を低減し、長期劣化寿命を延伸することが可能な傾斜機能材料として、図2に示すような、誘電率をU字に分布させる材料の作製を目指し、その作製技術について考案し、実際にU字の誘電率分布を有する傾斜機能材料の作製を可能にした。

図3に、U字誘電率分布の傾斜機能材料のための作製に関する基本的考えを示す。図に示すように、上層に誘電率が高く小粒径の材料を、下層に誘電率が低く大粒径の材料を配置し、これに遠心力を加えることで、遠心力の影響を受ける大粒径の粒子のみが偏在化し、結果的に図のような中央で誘電率が低い傾斜誘電率分布が実現できると考えた。

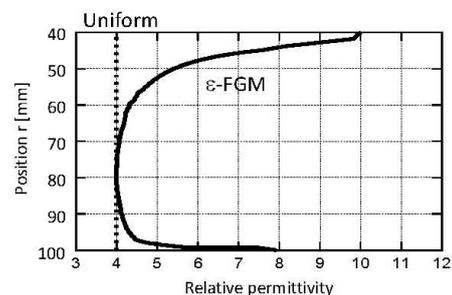


図2 U字誘電率分布 FGM

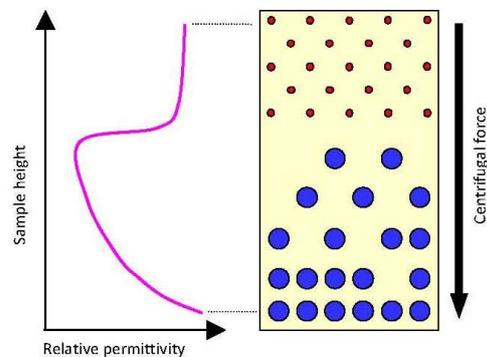


図3 U字誘電率傾斜機能材料作製概念

4. 研究成果

(1) 遠心力印加による傾斜機能材料の作製

図4は、フィラーとして酸化チタン（比誘電率 114）を充填したエポキシに、遠心力を加え、これを硬化させたサンプル内部を観察した断面写真である。図において、材料の上から下に向かって遠心力を印加している。観察の結果、材料の上部にはフィラーが小さく、また遠心力の影響を受けにくい小さい粒径のフィラーが残存しているのみであるのに対して、材料下部には、フィラーが多く存在しており、また大粒径のフィラーの割合が大きい様子が見られる。このことから、遠心力印加によるフィラーの偏在化が見られ、それによって傾斜機能材料の作製が実現できていることが確かめられた。

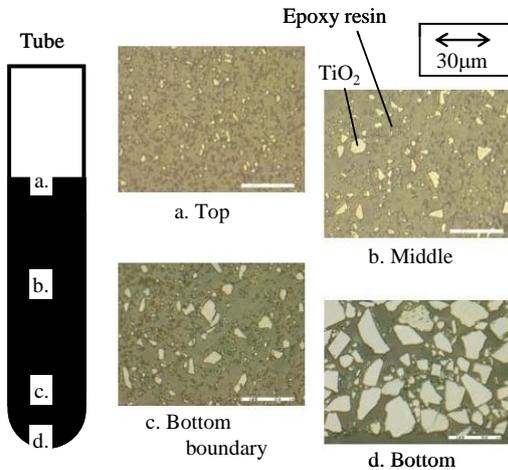


図4 傾斜機能材料中のフィラー分布

図5は、実際に製作した傾斜機能材料サンプルである。ここでは、円錐台形にカットしたものを載せている。写真右側の傾斜機能材料サンプルにおいて、サンプル上部の色が他の部分と異なっており、空間的なフィラー分布の違いが見られることがわかる。

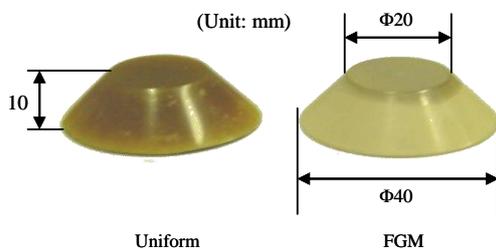
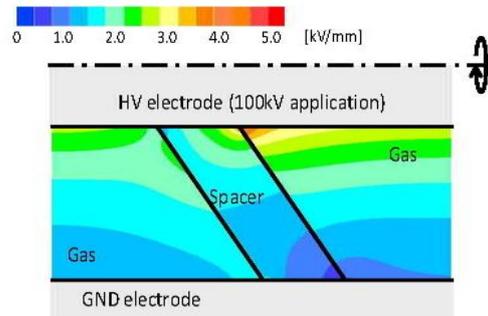


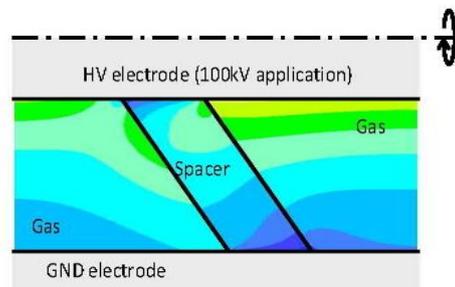
図5 傾斜機能材料サンプル

図6は、傾斜機能材料をガス絶縁電力機器に用いた場合の電界緩和効果を、電界解析によって求めたものである。同図から、傾斜機

能材料によって、最大電界の抑制と電界分布の均一化がはかられ、電力機器の電気絶縁にとって適した電界分布が得られていることが確かめられた。以上の結果から、傾斜機能材料を用いた場合の電界緩和効果を、シミュレーションによって検証することが出来た。



a. Uniform spacer



b. FGM spacer

図6 傾斜機能材料の適用による電界緩和

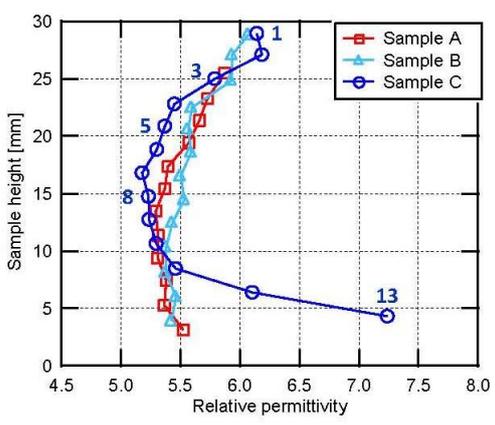
(2) U字誘電率分布を有する傾斜機能材料

高電圧の印加された電極と接地電極の間の絶縁に使われるスペーサは、特に電極とスペーサの界面での電界がスペーサの絶縁寿命を決める重要な因子となりうる。界面電界を低減させるためには、電極界面近傍のスペーサ誘電率を、他に比べて高くさせたような誘電率分布が必要となる。すなわち、スペーサの両端で誘電率が高く、それ以外で誘電率が低い、U字の誘電率分布が必要となる。

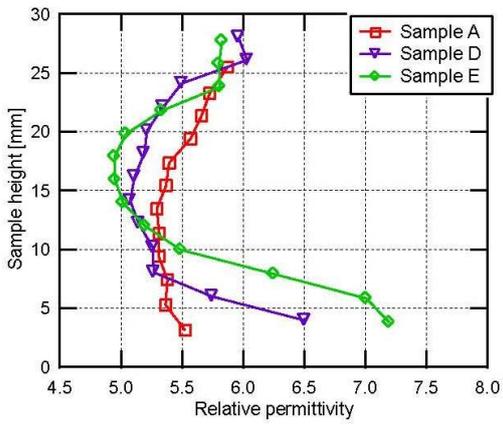
そこで、図3で述べたように、あらかじめ異なる誘電率を有する2層のサンプルを注型し、これに遠心力を加えることで、U字の誘電率分布を得ることを目指し、実験を進めた。ここでは、上層に酸化チタンの小粒径フィラーを、下層にアルミナの大粒径フィラーを用いた。2層サンプルそれぞれの充填材の粒子サイズやその充填率、さらには温度、遠心力の付加時間や付加力を種々変化させた。

図7に、得られた結果の一例を示す。図において、サンプルAでは、遠心力を加えない場合、サンプルB,Cでは、弱い遠心力を印加

した場合、サンプル D、E では、強い遠心力を印加した場合の実験結果を表しており、遠心力の印加時間は、5~10 分の間で変化させている。図から、最終的に得られる U 字の傾斜については、遠心力の大きさにおおいに依存しており、遠心時間にはあまり依存しないことがわかる。また、U 字の誘電率は、5 から 7 の間で変化しており、特に最下部では大きな傾斜が得られることがわかる。



a. U 字誘電率分布 (小傾斜)



b. U 字誘電率分布 (大傾斜)

図 7 得られた U 字誘電率分布

実際に、遠心力の印加によって、エポキシ中のフィラーの分布がどのように変化するかを確認するため、サンプルの顕微鏡観察を行った。サンプル各部の断面顕微鏡写真を図 8 に示す。図において、Point1~13 は、サンプル中の位置を表しており、番号が大きくなるほど下部、すなわち遠心力の印加方向に位置する。この図からわかるように、サンプル上部では、小粒径の酸化チタンフィラーのみが存在しているのに対して、サンプル下部では粒径の大きいアルミナフィラーが多く存在しており、さらにその中間領域では、下部に近づくに従って、小粒径の酸化チタンフィラーが減少し、粒径の大きいアルミナフィラ

ーがより多くなることがわかる。このことにより、サンプル上部では、誘電率の高い酸化チタンフィラーの存在により誘電率が高くなり、サンプル中央部から下部においては、誘電率の低いアルミナフィラーが傾斜分布することで、誘電率の傾斜分布が得られていることが確かめられ、結果的に、U 字の誘電率分布が得られることがわかった。また、遠心力の印加条件に応じて、様々なタイプの U 字誘電率分布が得られることがわかり、とりわけ、遠心力の大きさは、得られる誘電率傾斜を決定する有力な因子となっていることを確認できた。

Measured position	SEM micrographs
Point 1	
Point 3	
Point 5	
Point 8	
Point 13	

図 8 U 字傾斜機能材料中のフィラー分布

以上の実験は、適切な温度・湿度管理、フィラーの管理および遠心力の管理など、実験条件の管理下で実施されており、これらの管理の精度が良好であれば、実験データは十分

な再現性を持って得られることを確認している。

以上のことから、今後傾斜機能材料を電気機器・電力機器に用いることを検討する場合、その作製方法に関する有力なデータを得ることが出来た。今後、実機器を想定した、より大きなサイズの傾斜機能材料の作製が可能になった場合、機器のコンパクト設計や高効率化に寄与するだけでなく、スペーサ形状の簡略化やコストダウンへの貢献もはかることができると考えられ、今後これらに関するデータの充実がはかれる必要があると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 4 件)

- (1) M. Kurimoto, A. Kai, K. Kato, H. Okubo: Fabrication of Permittivity Graded Materials for Reducing Electric Stress on Electrode Surface, 2008 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 2008.6.8-10, Renaissance Vancouver Hotel, Vancouver, CANADA
- (2) 甲斐、栗本、加藤、大久保: 電極表面の電界緩和型FGM(傾斜機能材料)の誘電率分布制御, 電気学会・放電/誘電・絶縁材料/高電圧合同研究会, ED-08-21/DEI-08-21/HV-08-21, 2008年1月25日, 霧島市国分公民館
- (3) 甲斐、栗本、加藤、大久保: 電極表面の電界緩和型誘電率傾斜FGM(傾斜機能材料)の作製技術, 平成19年度 電気関係学会東海支部連合大会, O-042, 2007年9月27日, 信州大学
- (4) 甲斐、栗本、加藤、大久保: 電極表面の電界緩和型誘電率傾斜FGM(傾斜機能材料)の作製, 平成19年 電気学会 基礎・材料・共通部門大会, VIII-6, 2007年8月27日, 大阪大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 克巳 (KATO KATSUMI)

名古屋大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 20293665