

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04917

研究課題名(和文) ナノカプセルコンポジット絶縁材料による低環境負荷型電力機器の開発

研究課題名(英文) Development of Environment-friendly Electrical Power Equipment Using Nanocapsule Composite Insulating Material

研究代表者

栗本 宗明 (Kurimoto, Muneaki)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70580546

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,400,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者は、本研究課題開始前の2010年にナノカプセル(気体を封入したナノサイズ構造粒子)をポリマーと複合した電気絶縁材料(ナノカプセルコンポジット絶縁材料：NCCM)を世界に先駆けて開発し、その低誘電率特性を明らかにした。本研究では、その絶縁破壊強度を明らかにした上で、NCCMの電力機器への適用可能性を明らかにするための基盤的研究を行った。

さらにナノカプセルを樹脂中にランダムに配置および配向した3次元電界解析モデルを構築し、ナノカプセルの放電開始電界を解析する学術的研究を行い、ナノカプセルは絶縁破壊強度を低下させる欠陥にならない可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

温室効果ガスの一つであるSF6の使用量を減らすために、世界中の電力機器メーカーは、SF6ガス使用量を減らしたコンパクト電力機器の開発を進めている。しかしながら、従来材料を用いたコンパクト設計には限界がある。この問題を解決するために、ナノカプセルコンポジット絶縁材料を新規開発し、これを用いて、ガス絶縁開閉装置を小型化できる可能性と、電力ケーブルの送電損失をも低減する可能性があることを示したことに意義がある。

さらにナノカプセルを用いて、原理上放電を形成しにくいナノサイズ空孔のみを導入することで、空孔の持つ低誘電性を積極的に電力用絶縁材料に利用する研究を行ったことにも学術的意義がある。

研究成果の概要(英文)：In 2010, before the start of this research project, the principal investigator successfully developed a new kind of electrical insulating material - a nanocapsule composite insulating material. This material is a compound of nanocapsules, which are nanosized-structure particles encapsulating gas, and polymers, and it demonstrates low permittivity characteristics. In this research project, the investigator further clarified its dielectric breakdown strength and undertook foundational research to explore the potential applicability of this nanocapsule composite insulating material to electrical power equipment. Moreover, the investigator developed a three-dimensional electric field analysis model in which nanocapsules are randomly distributed and oriented within the resin. Through analyzing the discharge initiation electric field of the nanocapsules, it was demonstrated that these nanocapsules do not serve as defects that decrease the dielectric breakdown strength.

研究分野：誘電絶縁材料、ナノマテリアル

キーワード：ナノコンポジット 誘電率 電気絶縁材料 電気エネルギー工学

1. 研究開始当初の背景

パリ協定が締結されたことを受けて、温室効果ガスの削減が強く求められている。温室効果ガスの一つであるSF₆は、優れた電気絶縁性能を持つため、ガス絶縁開閉装置(GIS)をはじめとする多くの電力機器で使用されている。世界中の電力機器メーカーは、SF₆ガス使用量を減らしたコンパクト電力機器の開発を進めている。

電力機器内部には、高電圧導体を機械的に支持する固体絶縁材料が用いられている。その高い誘電率が機器内部の電界を変歪し、絶縁劣化を引き起こし易くする。これが機器のコンパクト設計の障害となっており、この問題を解決するためには電界を最適化する低誘電率な固体絶縁材料が求められている。

固体絶縁材料には、添加剤や充填材が配合され、素材の性質の補強またはその改質が試みられている。近年ではナノテクノロジーが注目を集めており、国内外における固体絶縁材料の分野でも、ナノサイズ粒子とポリマーのコンポジット(複合材料)の研究開発が国内外で活発に行われている。私は2010年に、ナノカプセル(気体を封入したナノサイズ構造粒子)をポリマーと複合した新しい電気絶縁材料、すなわちナノカプセルコンポジット絶縁材料を世界に先駆けて開発し(図1)、その低誘電率特性を明らかにしていた。

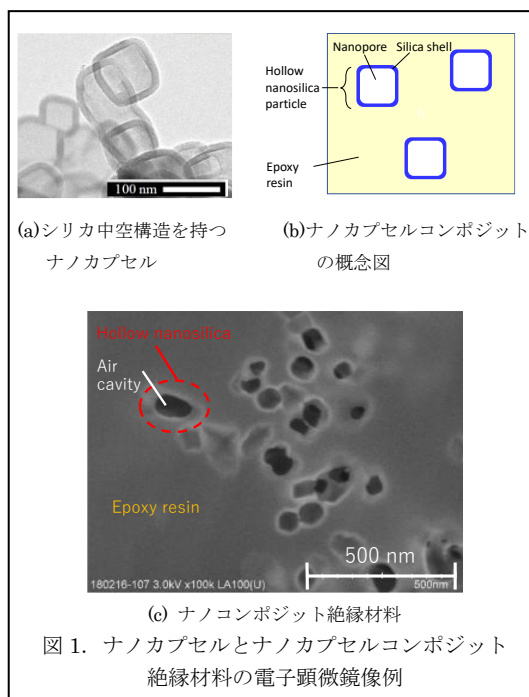


図1. ナノカプセルとナノカプセルコンポジット絶縁材料の電子顕微鏡像例

2. 研究の目的

- (1) 本研究では、ナノカプセルコンポジット絶縁材料の電気絶縁破壊強度を明らかにした上で、ナノカプセルコンポジット絶縁材料の電力機器への適用可能性を明らかにするための基礎的研究を行う。
- (2) さらに、ナノカプセルを樹脂中にランダムに配置および配向した3次元電界解析モデルを構築する。このモデルに基づいてナノカプセルの放電開始電界を解析し、ナノカプセルが絶縁破壊強度を低下させる欠陥にならない可能性を示す。

3. 研究の方法

(1) 作製したナノカプセルコンポジット絶縁材料に、交流高電圧を印加し、そのバルク部分の絶縁破壊電圧を測定する。この絶縁破壊電圧を評価するために、試料と電極を樹脂モールドしたMcKeown電極系(図2)と針-平板電極(図3)を用いた。可変周波数高電圧発生装置を用いて試料に高電圧を印加し、ナノカプセルコンポジットの絶縁破壊電圧を測定する。ここで、中空構造を持たないコンポジットと比較することにより、ナノカプセル内の中空構造がコンポジットの絶縁破壊強度に及ぼす影響を評価する。さらに、ナノカプセルコンポジット絶縁材料をガス絶縁開閉装置内部のスペーサおよびCVケーブルの絶縁体に適用した場合の効果を評価する。

(2) ナノカプセルコンポジットの誘電体構造を、3次元電界解析プログラムを使用してモデル化する。実際のナノカプセルはエポキシ樹脂中にランダムに分布しているため、ナノカプセルの配置および配向をモンテカルロシミュレーションによって決定する。本モデルを用いて計算したナノカプセル内の電界強度を計算し、電子なだれ理論に基づきナノカプセルの放電開始電界を解析する。

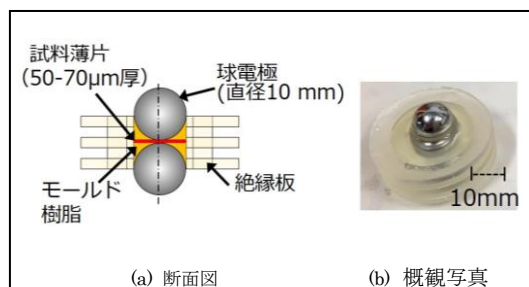


図2. 絶縁破壊試験用McKeown電極系

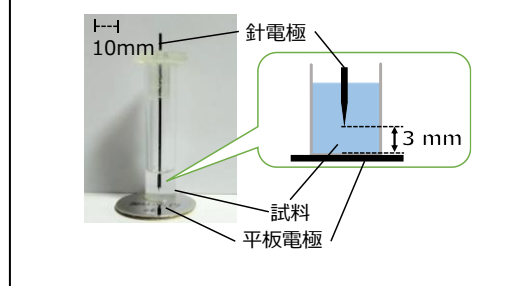
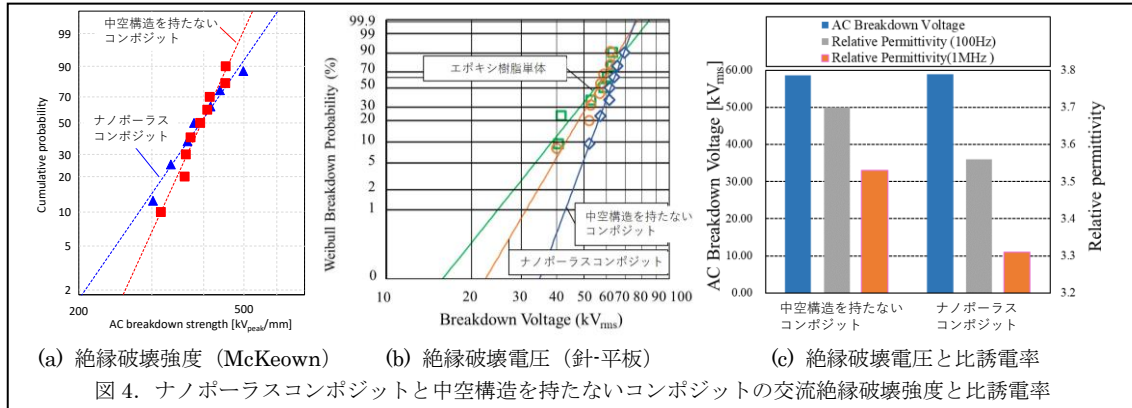


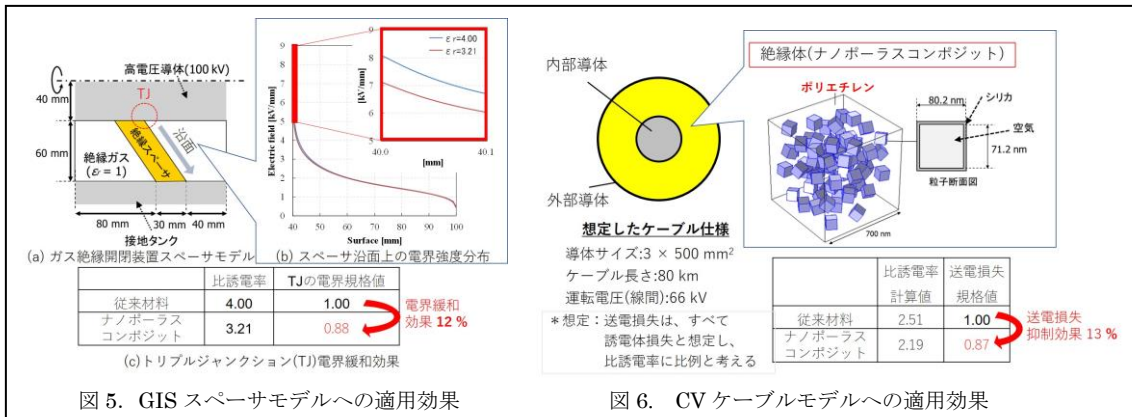
図3. 絶縁破壊試験用針-平板電極系

4. 研究成果

(1) 前述した McKeown 電極系と針-平板電極をそれぞれ使用して、ナノカプセルコンポジットのバルク部分の交流絶縁破壊強度を測定し、その結果をワイブル解析により評価した。ナノカプセルコンポジットの絶縁破壊強度のワイブル平均値は、同添加量を持つ中空構造を持たないコンポジットの絶縁破壊強度と同等であることを明らかにした(図4(a), (b))。また、ナノカプセルコンポジットの比誘電率は、中空構造を持たないコンポジットの比誘電率よりも低いことを確かめた。この低誘電性は、ナノカプセルコンポジット内の空孔特有のものである。ナノカプセルコンポジット絶縁材料を電力用絶縁材料として使用できる可能性があり、空孔の持つ低誘電性を積極的に電力用絶縁材料に利用できることを示した(図4(c))。

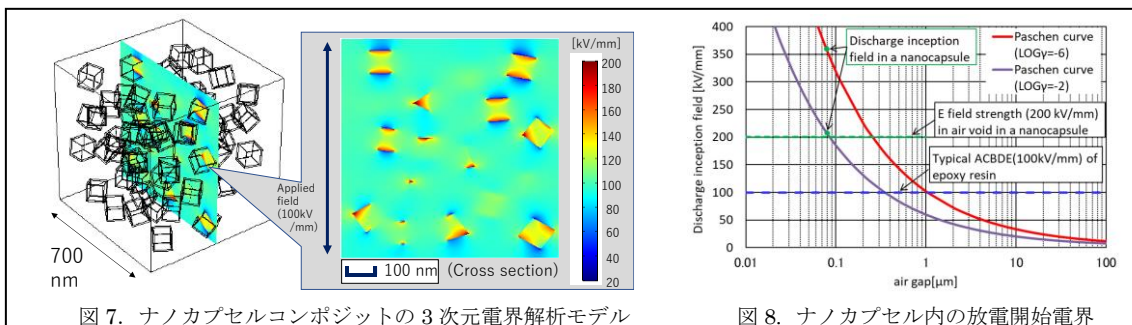


ナノカプセルの充填率を 16%まで増加させたナノカプセルコンポジットをガス絶縁開閉装置 (GIS) のスペーサモデルに適用した場合に、GIS サイズを決める設計パラメータである TJ 電界を約 12%低減することをモデル計算により明らかにした(図5)。これらの結果から、ナノカプセルコンポジットを適用することによって、GIS を小型化する可能性が示された。さらに、同粒子材料条件のナノカプセルコンポジットを CV ケーブルモデルの絶縁体に適用した場合に、CV ケーブルの送電損失を約 13 %低減する可能性が示された(図6)。



(2) ナノカプセルを樹脂中にランダムに配置および配向した 3 次元電界解析モデルを構築し、ナノカプセル内の電界強度を計算した。その結果を基に、パッシェン則に従ってナノカプセル内の放電開始電界を推定した。ナノカプセル内の放電開始電界は、ナノカプセルコンポジットのバルク部分(典型的な絶縁破壊強度 100 kV/mm)が絶縁破壊した時にナノカプセルに印加されている電界強度よりも高い(図8)。すなわち、ナノカプセル内で放電が発生する前に、ナノカプセルコンポジットのバルク部分が絶縁破壊することがわかり、ナノカプセルは、ナノカプセルコンポジットの絶縁破壊強度を低下させる欠陥にならないと考えられる。

今後は、本成果の応用として、次世代電力ネットワーク用電力変換設備や、電動モビリティの基幹部品であるパワー半導体モジュールへの適用可能性を明らかにする研究に取り組みたい。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kurimoto Muneaki, Kato Chiharu, Kato Takeyoshi, Yoshida Takuma, Yamashita Yuu, Suzuoki Yasuo	4. 巻 26
2. 論文標題 Finite element modeling of effective permittivity in nanoporous epoxy composite filled with hollow nanosilica	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS ON DIELECTRICS AND ELECTRICAL INSULATION	6. 最初と最後の頁 1434-1440
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TDEI.2019.008032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Muneaki Kurimoto, Tekayoshi Kato, Takuma Yoshida, Chiharu Kato, Yasuo Suzuoki	4. 巻 2
2. 論文標題 Low Permittivity Epoxy Nanoporous Composites Filled with Hollow Nanosilica	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IET Nanodielectrics	6. 最初と最後の頁 109-113
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1049/iet-nde.2018.0040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kurimoto Muneaki, Yamashita Yuu, Yoshida Takuma, Kato Takeyoshi, Funabashi Toshihisa, Suzuoki Yasuo	4. 巻 25
2. 論文標題 Influence of Nanopore Diameter on Dielectric Permittivity of Epoxy/Open Nanoporous Silica Microcomposites	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation	6. 最初と最後の頁 1022-1029
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TDEI.2018.006846	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kurimoto Muneaki, Ozaki Hiroya, Sawada Tooru, Kato Takeyoshi, Funabashi Toshihisa, Suzuoki Yasuo	4. 巻 25
2. 論文標題 Filling ratio control of TiO ₂ and SiO ₂ in epoxy composites for permittivity-graded insulator with low coefficient of thermal expansion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation	6. 最初と最後の頁 1112-1120
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TDEI.2018.007020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kurimoto Muneaki、Ozaki Hiroya、Sawada Tooru、Funabashi Toshihisa、Kato Takeyoshi、Suzuoki Yasuo	4. 巻 101
2. 論文標題 FEM simulation of local field enhancement close to lamination interface of permittivity-graded material	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Electronics and Communications in Japan	6. 最初と最後の頁 48-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ecj.12074	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 栗本宗明, 尾崎裕哉, 澤田亨, 舟橋俊久, 加藤丈佳, 鈴置保雄	4. 巻 138
2. 論文標題 誘導率傾斜材料の積層界面近傍における局所電界強調の有限要素解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会論文誌A (基礎・材料・共通部門誌)	6. 最初と最後の頁 104-112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.138.104	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計30件(うち招待講演 0件/うち国際学会 14件)

1. 発表者名 C. Kato, M. Kurimoto, T. Sawada, T. Kato, S. Sugimoto, M. Imanaka, Y. Suzuoki
2. 発表標題 Impulse Breakdown Strength of Epoxy/Silica Nanocomposite Prepared with Using Ultrasonic Dispersion Process
3. 学会等名 2019 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Fujihara, M. Kurimoto, K. Naya, T. Kato, M. Imanaka, S. Sugimoto, Y. Suzuoki
2. 発表標題 Effect of Filler Amount on Relative Permittivity and Deformation Rate of TiO ₂ /Silicone Elastomer Composite
3. 学会等名 2019 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Hisada, M. Kurimoto, M. Imanaka, S. Sugimoto, T. Kato, H. Muto
2 . 発表標題 Effect of Nanoparticle Addition on Electrical Tree Development in Silicone Gel under AC Electric Field Application
3 . 学会等名 The International Council on Electrical Engineering (ICEE) Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Hatano, T. Sawada, M. Imanaka, S. Sugimoto, T. Kato, M. Kurimoto, Y. Manabe, Y. Suzuki
2 . 発表標題 Influence of Laminate Interfaces on AC Breakdown Strength of Laminated Elastomer Prepared by 3D Printer
3 . 学会等名 The International Council on Electrical Engineering (ICEE) Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 C. Kato, M. Kurimoto, T. Kato, M. Imanaka, S. Sugimoto, Y. Suzuki
2 . 発表標題 Effect of Filler Material on Dielectric Breakdown Strength of Epoxy Nanocomposite
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems For Sustainability (ICMaSS) 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Hisada, M. Kurimoto, M. Imanaka, T. Kato, S. Sugimoto, H. Muto
2 . 発表標題 Suppression of Electrical Tree Growth in Nanocomposite Gel for Power Module
3 . 学会等名 International Conference on Materials and Systems For Sustainability (ICMaSS) 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Hatano, R. Seo, M. Imanaka, S. Sugimoto, T. Kato, M. Kurimoto, Y. Manabe, Y. Suzuoki
2. 発表標題 Influence of Lamination Direction on AC Breakdown Characteristics of Insulation Materials
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems For Sustainability (ICMaSS) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Fujihara, M. Kurimoto, K. Naya, T. Kato, M. Imanaka, S. Sugimoto, Y. Suzuoki
2. 発表標題 Permittivity Characteristics of TiO ₂ Silicone Elastomer Composites for Energy Conversion
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems For Sustainability (ICMaSS) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤千陽, 栗本宗明, 加藤丈佳, 杉本重幸, 今中政輝, 鈴置保雄
2. 発表標題 エポキシ/シリカカプセルナノコンポジットの作製と内部電界分布の評価
3. 学会等名 第50回電気電子絶縁材料システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原亮介, 栗本宗明, 今中政輝, 杉本重幸, 加藤丈佳, 鈴置保雄
2. 発表標題 誘電エラストマーの発電出力計算モデルの構築
3. 学会等名 第50回電気電子絶縁材料システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久田直也, 栗本宗明, 今中政輝, 杉本重幸, 加藤丈佳, 武藤浩隆
2. 発表標題 針-平板電極系におけるシリコーンゲルナノコンポジットのトリーイング破壊特性
3. 学会等名 第50回電気電子絶縁材料システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤千陽, 紫村未来, 今中政輝, 杉本重幸, 加藤丈佳, 栗本宗明, 鈴置保雄
2. 発表標題 超音波照射と分散したナノシリカがエポキシ樹脂のインパルス絶縁破壊強度に及ぼす影響
3. 学会等名 令和元年電気学会基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原亮介, 畑野太郎, 今中政輝, 杉本重幸, 加藤丈佳, 栗本宗明, 鈴置保雄
2. 発表標題 棒状TiO ₂ 粒子の充填がシリコーンエラストマーの誘電率と伸長変形量に及ぼす影響
3. 学会等名 令和元年電気学会基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久田直也, 栗本宗明, 今中政輝, 杉本重幸, 加藤丈佳, 武藤浩隆
2. 発表標題 酸化チタンナノ粒子を微量添加したシリコーンゲル中で進展する電気トリーの光学顕微鏡観察
3. 学会等名 令和元年度電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kurimoto, T. Yoshida, C. Kato, T. Kato, Y. Suzuoki
2. 発表標題 Permittivity Calculation Model for Low Permittivity Characteristic of Epoxy/Hollow Silica Nanocomposites
3. 学会等名 2018 Conference on Electrical Insulation & Dielectric Phenomenon (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Kurimoto, T. Sawada, T. Kato, Y. Suzuoki
2. 発表標題 3D Printing of 2 Layered Permittivity -graded Material Using UV-Cured-resin/Alumina Composite
3. 学会等名 12th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Naya, M. Kurimoto, T. Kato, Y. Suzuoki
2. 発表標題 Relative Permittivity of TiO ₂ /Silicone Elastomer Composite Stretched in Uniaxial Direction
3. 学会等名 2018 Conference on Electrical Insulation & Dielectric Phenomenon (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤千陽, 栗本宗明, 加藤丈佳, 鈴置保雄
2. 発表標題 エポキシ樹脂に充填した中空シリカナノ粒子の内部空間の評価
3. 学会等名 平成30年電気学会基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田河和真, 澤田亨, 栗本宗明, 杉本重幸, 今中政輝, 加藤丈佳, 鈴置保雄
2. 発表標題 単一粒径の粒子をランダム配置したポリマーナノコンポジットモデルにおける電界強調の評価
3. 学会等名 平成30年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 納谷健斗, 栗本宗明, 今中政輝, 杉本重幸, 加藤丈佳, 鈴置保雄
2. 発表標題 棒状TiO ₂ 粒子を充填したシリコンエラストマーコンポジットの誘電率計算モデルの構築
3. 学会等名 平成30年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 納谷健斗, 栗本宗明, 加藤丈佳, 鈴置保雄
2. 発表標題 TiO ₂ /シリコンエラストマーコンポジットの伸長による誘電率低下原因に関する一考察
3. 学会等名 平成30年電気学会基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 納谷健斗, 栗本宗明, 今中政輝, 杉本重幸, 加藤丈佳, 鈴置保雄
2. 発表標題 棒状TiO ₂ 粒子充填によるシリコンエラストマーの高誘電率化
3. 学会等名 第49回電気電子絶縁材料システムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 畑野太郎, 澤田亨, 今中政輝, 杉本重幸, 加藤丈佳, 栗本宗明, 真鍋祐矢, 鈴置保雄
2. 発表標題 3Dプリンタで積層成形したエラストマーの交流絶縁破壊の強さに積層界面が与える影響
3. 学会等名 誘電・絶縁材料/放電・プラズマ・パルスパワー/高電圧合同研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 納谷健斗, 栗本宗明, 平井直志, 大木義路
2. 発表標題 誘電エラストマーの複素誘電率における伸長変形-温度-周波数特性
3. 学会等名 誘電・絶縁材料/放電・プラズマ・パルスパワー/高電圧合同研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田拓真, 栗本宗明, 舟橋俊久, 加藤丈佳, 村上義信, 川島朋裕, 鈴置保雄
2. 発表標題 エポキシ/中空シリカナノコンポジットの粒子充填率が交流絶縁破壊の強さに与える影響の基礎的検討
3. 学会等名 平成29年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田拓真, 栗本宗明, 舟橋俊久, 加藤丈佳, 鈴置保雄
2. 発表標題 エポキシ/中空シリカナノコンポジットの誘電率計算モデルの構築
3. 学会等名 平成29年電気学会基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yoshida, M. Kurimoto, T. Funabashi, T. Kato, Y. Suzuki
2. 発表標題 Low Permittivity Insulator Using Epoxy/ Hollow Silica Nanocomposite
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yoshida, M. Kurimoto, Y. Manabe, T. Funabashi, T. Kato, Y. Suzuki
2. 発表標題 Particle Porosity and Relative Permittivity of Epoxy/ Hollow Silica Nanocomposites
3. 学会等名 2017 Conference on Electrical Insulation & Dielectric Phenomenon (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Ozaki, M. Kurimoto, T. Sawada, T. Funabashi, T. Kato, Y. Suzuki
2. 発表標題 Evaluation of Relative Permittivity and Coefficient of Thermal Expansion of TiO ₂ /SiO ₂ Epoxy Composites for Permittivity-graded Insulator
3. 学会等名 2017 Conference on Electrical Insulation & Dielectric Phenomenon (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田拓真, 加藤千陽, 栗本宗明, 舟橋俊久, 加藤丈佳, 鈴置保雄
2. 発表標題 エポキシ/中空シリカナノコンポジットの粒子形状を考慮した誘電率計算モデルの構築
3. 学会等名 平成30年電気学会全国大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 進化するテラレーメイドコンポジット絶縁材料に関する調査専門委員会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 電気学会	5. 総ページ数 116
3. 書名 進化するテラレーメイドコンポジット絶縁材料～絶縁技術を革新するコンポジット材料創成を目指して～	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 表示装置	発明者 栗本宗明、熊澤昌宏	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2023-96506	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------