

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：53901

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04011

研究課題名（和文）直流絶縁破壊と空間電荷特性で解き明かす電気絶縁材料の新たな積層界面影響メカニズム

研究課題名（英文）A Mechanism of Layer Interface Effect on DC Breakdown and Space Charge Characteristics of Electrical Insulating Materials

研究代表者

光本 真一（Mitsumoto, Shinichi）

豊田工業高等専門学校・電気・電子システム工学科・教授

研究者番号：40321492

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：多くの3Dプリンタでは材料を積層して部材を成形するため、材料内部に積層界面を生じる。光造形3Dプリンタを用いて、積層方向の異なるアクリルエラストマーシートを作製し、これらの直流電気特性および空間電荷分布について調査した。印加電界と積層界面が垂直な場合（試料H）は、積層界面に正極性の空間電荷が形成されやすい可能性が考えられる。さらに、材料をアクリルエラストマーからアクリル樹脂とした場合においても試料Hでは正極性の空間電荷が形成された。このため材料が異なる場合でも印加電界方向と積層界面が垂直に位置する場合は、正極性の空間電荷形成がされやすいことが考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電力を使用するうえで、電気絶縁部は不可欠な存在である。電気絶縁部の多くは、固体高分子が使用されている。電気絶縁部は複雑な形状をしているため、本研究では3Dプリンタで電気絶縁部を作成し、3Dプリンタで作成される電気絶縁部の低電界領域の空間電荷特性を調査した。印加電界と積層界面が垂直な場合は、積層界面に正極性の空間電荷が形成されやすく、印加電界方向と積層界面が平行に位置する場合は、空間電荷形成に大きな影響を与えない可能性が考えられる。実用化に向けた評価を進めるためにはさらに高電界領域での調査が望まれる。

研究成果の概要（英文）：The space charge profiles in elastomer sheets with laminating area of vertical direction against electric field direction is investigated. Samples were prepared using a stereolithographic 3D printer. Sample N has no lamination. Sample H has horizontal laminating direction against sample surface. Space charge distribution was measured using the pulsed electro-acoustic system. The DC conduction current was measured by using a current integration meter. The accumulated positive charge amount near the anode in sample H was found to be larger than that in sample N. It is considered that a number of positive charges raised at the laminate interface in sample H.

研究分野：電気絶縁工学

キーワード：空間電荷特性 HVDC 3Dプリンタ 積層界面 直流絶縁破壊特性

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

太陽光発電を大量導入した再生可能エネルギー社会の実現および電力需要の増加に対応するため、電力ケーブルをはじめとする電力機器の大容量化および高信頼化が進められている。また現在主流となっている交流電力送電を HVDC 送電に置き換えることができれば、充電電流等による損失が払拭され、エネルギー損失を小さくすることが可能になる。しかし電力機器に使用される固体絶縁材料では、HVDC 印加時に空間電荷が材料界面等の欠陥に蓄積し局所電界が集中する箇所が弱点になる可能性があるため、空間電荷蓄積と絶縁破壊の強さは密接な関連があると考えられている。HVDC 送電システムの安定動作のために、固体絶縁材料の空間電荷特性や絶縁破壊特性などの直流電気絶縁特性を定量的に検証することが必要である。本研究では上記の背景を鑑みて、材料界面の数や方向を 3D プリンタによって制御した絶縁材料を作製し、これら構造異方性が空間電荷特性に影響を及ぼすメカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. 研究の目的

本研究においては、3D プリンタを用いて材料構造の異方性を制御した絶縁材料を作製し、これら異方性が空間電荷蓄積および直流絶縁破壊に影響を及ぼすメカニズムを明らかにすることを目的とする。特に、材料積層界面が電気絶縁特性に与える影響を検証する。具体的には 3D プリンタを用いて絶縁シートを成形し、基礎的な電気絶縁特性(空間電荷特性、電気伝導特性)を調査していくことを目的としている。

3. 研究の方法

光造形式 3D プリンタを利用して、積層方向が異なる試料を作成した。試料の材料は、アクリルエラストマーであり、試料厚さはおよそ 0.5 mm であり、積層した 1 層の高さは 0.05 mm である。積層方向は、シート面に対して 0° 、 90° (以降それぞれ、H、V とよぶ) と制御することにより成形された。これらの積層方向が異なる 2 種類の試料および積層界面が存在しない試料 (以降 N とよぶ) を実験試料として用いた。N、H、V の 3 種類の試料の模式図を図 1 に示す。なお試料 N および試料 H に関しては、材料がアクリル樹脂のものも使用した。

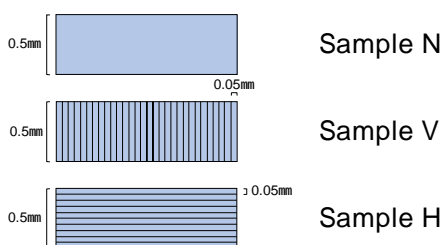


図 1. N、H、V の 3 種類の試料の模式図

パルス静電応力法による空間電荷測定

試料に対して、 2kV/mm から 10kV/mm の電界をそれぞれ 5 分間印加した。電界印加 5 分後にパルス静電応力 (PEA) 法により発生された空間電荷信号を、デジタルオシロスコープによって観測した。実験回路図を図 2 に示す。空間電荷分布測定に用いたパルス電圧は 750V 、平均化回数は 200 回である。すべての実験は室温で行った。

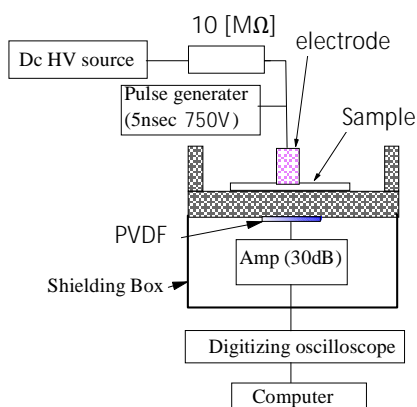


図 2. 空間電荷分布測定回路

4. 研究成果

図3に、試料Nにおける空間電荷分布を示す。この図から、印加電界が大きくなるにしたがって、陰極付近に形成される正極性の空間電荷密度が大きくなっていることが確認できる。

試料Vにおける空間電荷分布を図4に示す。この図からも電界印加状態において陰極付近に正極性の空間電荷が蓄積することが確認できる。図3と図4の結果から、試料Nと試料Vの正極性の空間電荷の形成過程に顕著な違いは見られなかった。

図5に試料Hにおける空間電荷分布を示す。この図から、電界印加中に正極性の空間電荷の形成は見られるものの、それらは陽極側に多く分布していることがわかる。図5の試料Hのみ印加電界方向に対して垂直に積層界面が存在している。このことから印加電界と積層界面が垂直な場合は、積層界面に正極性の空間電荷が形成されやすい可能性が考えられる。また図4と図5の結果を比較することで、印加電界方向と積層界面が平行に位置する場合は、空間電荷形成に大きな影響を与えない可能性も考えられる。

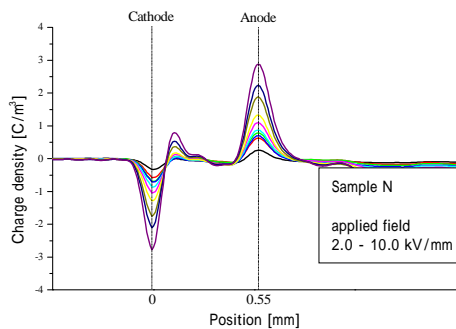


図3. 試料Nにおける空間電荷分布
(アクリルエラストマー)

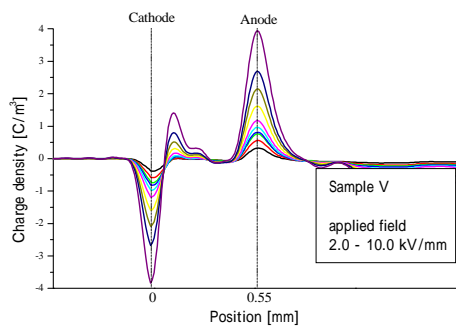


図4. 試料Vにおける空間電荷分布
(アクリルエラストマー)

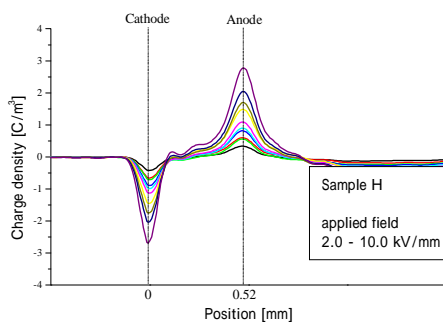


図5. 試料Hにおける空間電荷分布
(アクリルエラストマー)

さらに試料をアクリル樹脂に変更した場合の試料 N と試料 H の正極性の空間電荷分布を図 6 と図 7 に示す。図 6 から、試料 N において電界印加中に僅かな正極性の空間電荷が形成されていることが確認できる。図 7 の試料 H の場合は、試料全体に正極性の空間電荷が形成されていることがわかる。これらのことから、試料の材料が変化しても印加電界と積層界面が垂直な場合は、積層界面に正極性の空間電荷が形成されやすい可能性が考えられる。

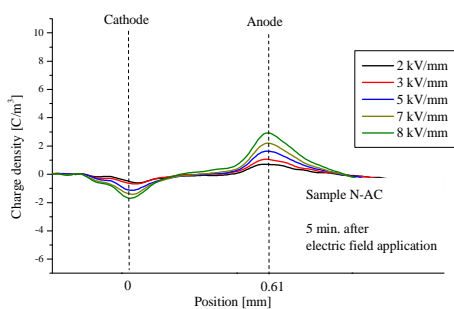


図 6. 試料 N における空間電荷分布
(アクリル樹脂)

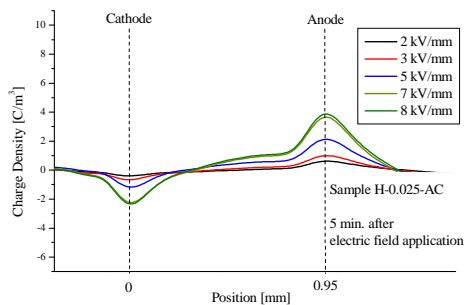


図 7. 試料 H における空間電荷分布
(アクリル樹脂)

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 M.Kurimoto, Y.Manabe, S.Mitsumoto, Y.Suzuoki	4. 巻 46
2. 論文標題 Effect of layer interfaces on dielectric breakdown strength of 3D printed rubber insulator using stereolithography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Elsevier Additive Manufacturing	6. 最初と最後の頁 102069
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 犬塚通子, 光本真一, 栗本宗明, 藤井雅之, 福間眞澄	4. 巻 144
2. 論文標題 電界方向に対して垂直な積層界面が存在するアクリルエラストマーの空間電荷特性	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 電気学会論文誌A	6. 最初と最後の頁 145,151
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Y.Hisada, M.Kurimoto, T.Kato, S.Sugimoto S.Mitsumoto, Y.Suzuoki
2. 発表標題 High-precision Estimation of Dielectric Elastomer Generator Output Considering Leakage Charge
3. 学会等名 International Conference on Dielectrics 2022 (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木理菜, 光本真一, 栗本宗明, 芳原新也
2. 発表標題 5kV/mm 印加時における原子炉照射 LDPE の充電電荷計測
3. 学会等名 電気関係学会 東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 犬塚通子, 光本真一, 栗本宗明
2. 発表標題 10kV/mm 以下の電界印加時における積層形成されたアクリル樹脂の空間電荷特性
3. 学会等名 電気関係学会 東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久田優, 栗本宗明, 伊藤徹二, 光本真一, 鈴置保雄
2. 発表標題 酸化グラフェン/シリコンゴムナノコンポジットの作製と電気伝導率測定
3. 学会等名 電気学会基礎材料部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久田優, 栗本宗明, 伊藤徹二, 光本真一, 鈴置保雄
2. 発表標題 誘電エラストマー発電の漏れ電荷を考慮した発電出力の高精度評価と出力向上に関する一検討
3. 学会等名 電気学会誘電絶縁材料研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 犬塚通子, 光本真一, 栗本宗明, 藤井雅之, 福間眞澄
2. 発表標題 積層形成されたアクリル樹脂の印加電界10kV/mm以下の空間電荷特性
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S.Mitsumoto, M.Kurimoto, M.Fukuma, M.Fujii, S.Hohara
2. 発表標題 Effect of Low Level Radioactive-ray Irradiation in Nuclear Reactor on Space Charge Formation in Polyethylene
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久田優, 栗本宗明, 加藤丈佳, 杉本重幸, 光本真一, 鈴置保雄
2. 発表標題 エラストマーの電気伝導率測定と漏れ電荷を考慮した誘電エラストマー発電出力の高精度評価
3. 学会等名 電気学会基礎材料部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永井ひとみ, 光本真一, 栗本宗明
2. 発表標題 3kV/mm印加時におけるエラストマーの空間電荷特性に及ぼす電界印加時間の影響
3. 学会等名 電気関係学会 東海支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久田優, 栗本宗明, 加藤丈佳, 杉本重幸, 光本真一, 鈴置保雄
2. 発表標題 シリコンエラストマーの電気伝導率の印加電界依存性
3. 学会等名 電気関係学会 東海支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 犬塚通子, 光本真一, 栗本宗明, 藤井雅之, 福間眞澄
2. 発表標題 電界方向に対して垂直な積層方向が存在するアクリルエラストマーの空間電荷特性
3. 学会等名 電気学会基礎材料部門大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 光本真一, 栗本宗明, 藤井雅之, 福間眞澄
2. 発表標題 積層成形されたアクリル樹脂における30kV/mm印加後の残留空間電荷特性
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	栗本 宗明 (Kurimoto Muneaki) (70580546)	名古屋大学・工学研究科・准教授 (13901)	

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
---------	---------