



Title	エネルギー解放率に基づく電気絶縁材料劣化の駆動力推定
Author(s)	木谷, 亮太; 岩田, 晋弥; 今谷, 勝次
Citation	電気材料技術雑誌. 2023, 32(1), p. 9-17
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/93518
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

エネルギー解放率に基づく電気絶縁材料劣化の駆動力推定

木谷 亮太¹、岩田 晋弥¹、今谷 勝次²

¹ 地方独立行政法人大阪産業技術研究所

〒594-1157 大阪府和泉市あゆみ野 2-7-1

² 京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー変換科学専攻

〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

Estimating driving-force of electrical deterioration of insulators based on energy-release rate

Ryota KITANI¹, Shinya IWATA¹, Shoji IMATANI²

¹ Osaka Research Institute of Industrial Science and Technology

2-7-1 Ayumino, Izumi, Osaka 594-1157, JAPAN

² Kyoto University Graduate School of Energy Science

Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, Kyoto 606-8501, JAPAN

Detailed analyses of mechanisms of electrical treeing phenomenon have been carried out yet. In this study, we analyze electrical trees as very thin 3D tubes between a treeing needle and a plate electrode and calculate the energy-release rate to estimate and evaluate the driving force required for crack propagation. This study implements a new method applying an analogy between concepts of fracture mechanics and Maxwell stress to calculate the energy-release rate in a 3D model. As a result, we obtained the energy-release rate around a volume near the needle-electrode and electrical trees. In addition, path independence is verified, and it is found to be conserved only when the path does not include the interface between the needle-electrode and the insulation material. Then, the values of energy-release rate obtained in each condition of tree length and applied voltage were compared, respectively. It is revealed that the 1D-growth of the tree has a small effect on the value of the energy-release rate, and that the value is proportional to the square of applied voltage on the needle-electrode. These results imply that calculating energy-release rate exhibits a potential to mathematically evaluate the growth of electrical trees, connecting its results to experimental results such as partial discharge phenomenon and/or space charge accumulation.

キーワード：電気絶縁材料、エネルギー解放率、有限要素解析、電気トリー

1. はじめに

電気機器のますますの普及に伴って、現代では電力機器の高耐電圧化への需要が極めて大きくなっている。他方で、電力設備の高経年化に伴って、

設備中の絶縁材料は劣化し続けることが予想される。高品質な電力供給を維持するためには、高性能な電気絶縁材料の開発技術および電力設備に使用する絶縁材料の劣化現象を適切に評価する技術

が極めて重要といえる^{1)・8)}。電気絶縁材料の劣化現象の一つに、材料中に樹状のクラックが進展してゆく「トリーイング (treering) 現象」が挙げられる。これは電気絶縁破壊の前駆現象の一種として知られており、劣化の原因ごとにそれぞれ電気トリー、水トリー、化学トリーといった分類がなされている。いずれも、放置すれば絶縁破壊に至り、電気的な大事故につながる恐れがあることから、各トリーの予防・予知・診断に関する各技術について継続して研究が進められている^{2)・9)・10)}。これまで数多くの研究がおこなわれている一方で、トリーイング現象には未解明の点も多く、原理解明については今なお発展途上である。

トリーの成長は、一度に電気絶縁破壊を起こすほどではないレベルの高電圧で生じるものであるとされ、各材料において様々な実験的考察がなされているが、例えばトリーの成長方向や成長量を統一的・確定論的に記述できるようなモデルはまだ確立されていない。そのため、実用的なレベルでトリーの進展を精緻に予測することは極めて難しく、実際の材料設計においては多数の絶縁破壊試験を実施してその結果を分析するしかないのが実情である。

電気力学の双方を考慮して電気絶縁破壊やトリーを取り扱っている例として、以下の研究が挙げられる。赤崎ら¹¹⁾は、機械的な応力が作用している環境下での電気絶縁破壊強度を調査し、橋詰ら¹²⁾は、応力環境下での電気トリーの進展について実験結果を報告している。また、El-Zein¹³⁾ら、および Ding¹⁴⁾らは、エネルギー収支やダメージプロセスゾーンの考え方を取り入れて、理論・実験面の双方から考察を行っている。

また、電気トリーは力学的に見ればき裂(クラック)の一種であると考えられる。そこで、破壊力学における応力拡大係数の概念を援用して、電気絶縁破壊と電界集中係数の関係について MacMeeking¹⁵⁾、および鈴木ら¹⁶⁾が研究を行って一覽にまとめている。しかし電気トリーについては、形状が極めて複雑なこともあり、このような考え方を適用して研究を進めている例は見られず、トリーの電界分布を数値計算で検証した例⁹⁾はある

が、3次元クラックとして数値計算で評価した例は著者らが現在知る限りにおいて見当たらない。

他方で、破壊力学¹⁷⁾の観点から見ると、固体中の欠陥の取扱いは Eshelby¹⁸⁾によって提唱された。Eshelby は欠陥上ではたらくエネルギー-運動量テンソル(弾性体のマクスウェル応力テンソル、または Eshelby の応力テンソル)を考案・導出した。今日では、このテンソルは破壊力学や連続体力学の分野における重要概念であり、材料のクラック(または欠陥)の進展に起因する「エネルギー解放」の基礎的な尺度として広く知られている¹⁹⁾。

以上の背景のもと、本研究では、トリーについて損傷許容的な設計指標を構築できるようにすることを目的とし、電気トリー駆動力推定の方法を提案する。最初に、電気トリーを細い(3次元の)円筒状の欠陥として模擬し、静電場解析モデルを作成する。次に、電気力学のアナロジーを用いて、機械的エネルギー解放率と同様の議論で3次元での電氣的エネルギー解放率として取り扱う手法を説明する。そして、有限要素法²⁰⁾による静電場の数値計算結果から実際に電氣的エネルギー解放率を算出し、その基本的性質について検討を行い、物理的意味を考察する。

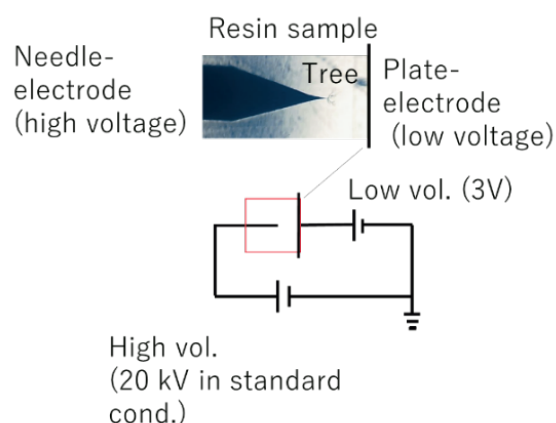


図1 電気トリーの実験系概略図

Fig. 1 Layout of a model and electrical circuit.

2. 研究方法

2. 1. モデルの作成

図1のような、樹脂サンプル中に埋め込んだ針電極(正極側)と対向する平板電極(負極側)か

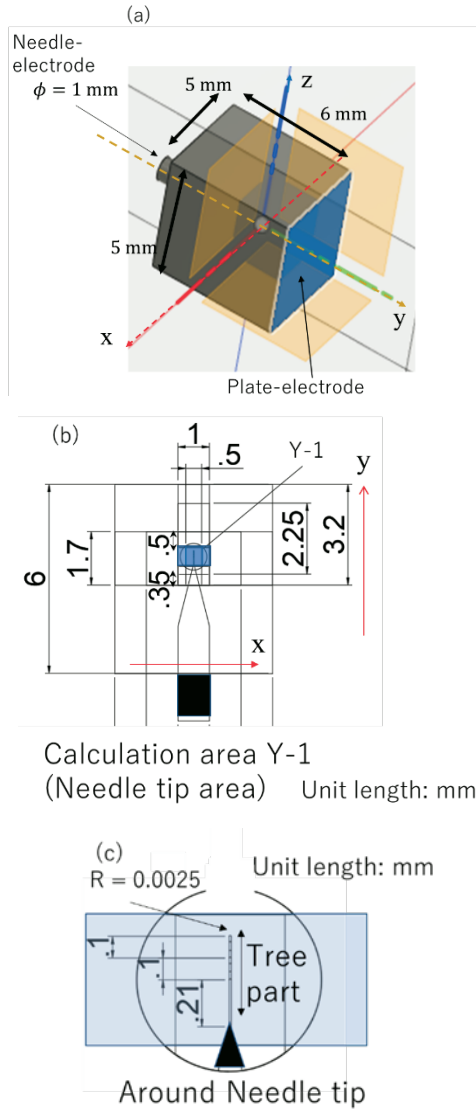


図2 解析モデルの概要 (a) CADモデルの概形、(b) 試料および針電極近傍の断面図 (c) 針電極先端まわりの積分領域（後述のY-1、青塗り部）とトリー形状の概要

Fig. 2 CAD/FEM design layout of the analyzed target. (a) Outline of the CAD model, (b) Cross-section around resin sample and treeing needle and (c) Integral area (Y-1, blue painted) around needle tip and the details of tree dimension.

ら構成される試料に対して、高電圧を印加する実験環境を想定して、図2-(a)~(c)に示すような解析モデルを作成した。それぞれ図2-(a)は全体像、図2-(b)は試料と針電極の中央断面図、図2-(c)は針電極近傍と今回用いた3種類のトリーの寸法を示している。今回は計算の簡単化のため、トリー表面は導電性を持ち、その表面電位は針電極と同じとした。表1に標準条件となる解析条件をまとめた。

表1 電圧の印加条件（標準条件）と誘電率

Table 1 Conditions of Applied voltage (standard cond.) and electrical permittivity.

Condition	Place	Value
Voltage of Electrode (V)	Needle-electrode	20000
	Plate-electrode	3
	Infinitely-far area	0
Relative permittivity	Insulator	2.3
	Air	1
	Tree (conductor)	-

2. 2. 静電場解析と電気的エネルギー解放率の導出

解析全体の見通し図を図3に示す。まず、用意した解析モデルで静電場解析を行い、静電ポテンシャルと電場の値を得る。次に、後述する数式変形によって3次元での電気的エネルギー解放率の式を導出する。最後に、得られた式に実際に静電ポテンシャルと電場の値を入力してマクスウェル応力を算出し、そこから電気的エネルギー解放率を得る。なお、本研究では有限要素解析にはオープンソースソフトウェア FreeFem++²¹⁾を使用し、解析結果の可視化は同じくオープンソースソフトウェアの Paraview²²⁾を使用した。またエネルギー解放率の計算には自作のコードを使用した。

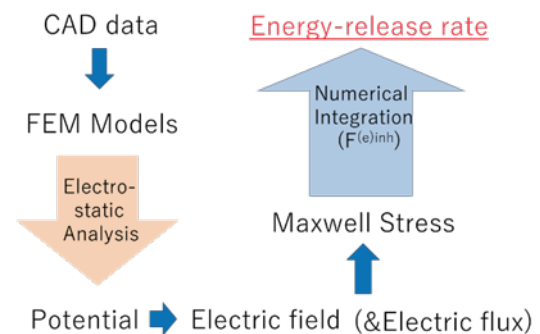


図3 解析手順の概要

Fig. 3 Outline of Analysis.

電気的エネルギー解放率の導出について詳述する。これに先立ち、(力学的) エネルギー解放率とのアナロジーについて説明する。エネルギー解

放率 F は破壊力学^{17), 19)}において、一般的に次の式(1)の形であらわされる。

$$F = \int_{\partial R} \left(W^e I_0 - \sigma_m \frac{\partial u}{\partial x} \right)^T \mathbf{n} ds_r \quad (1)$$

ここで、 $W^e = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \int_0^{\varepsilon_{m,ij}} \sigma_{m,ij} d\varepsilon_{m,ij}$ ($= \int_0^{\varepsilon_m} \sigma_m d\varepsilon_m$) はひずみエネルギー密度、 I_0 は単位行列、 σ_m は応力テンソル、 ε_m はひずみテンソルを表す。 $\mathbf{n}$ は微小要素 ds_r に対する法線ベクトル、 ∂R は反時計回りを基準としたき裂先端近傍を取り囲むような積分経路 (2次元では線積分経路 ∂R になり、3次元では面積積分経路 ∂V となる)、 u は変位ベクトルである。ここで、被積分関数の $(W^e I_0 - \sigma_m \frac{\partial u}{\partial x})$ は、「弾性体のマクスウェル応力」である。2次元の場合、 F は例えば図4のような概略図と式(2)であらわされる。

$$F = \int_{\partial R} \left(W^e I_0 - \sigma_m \frac{\partial u}{\partial x} \right)^T \mathbf{n} ds \quad (2)$$

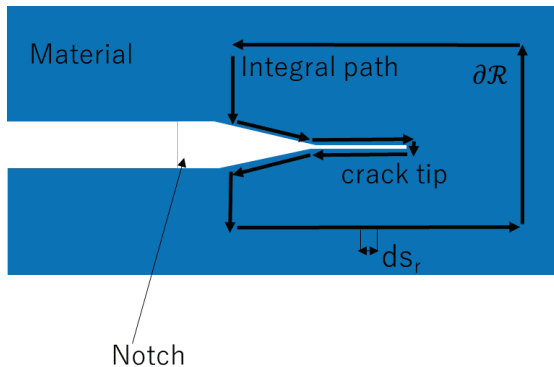


図4 (力学的) エネルギー解放率と積分経路の概要
Fig. 4 (Mechanical) energy-release rate and integral path.

応力が印加された際、き裂先端は開かれてき裂は進展する。エネルギー解放率はき裂を進展させる物体力であると同時に、単位長さ当たりのき裂先端開裂に伴って材料から放出されるエネルギーを指す。

他方で、「静電場のマクスウェル応力」は、一般に次に示す式(3)の形で与えられる。

$$\begin{aligned} D \otimes E - \frac{1}{2} (E \cdot D) I_0 \\ = \varepsilon \begin{pmatrix} E_x^2 - \frac{1}{2} E^2 & E_x E_y & E_x E_z \\ E_y E_x & E_y^2 - \frac{1}{2} E^2 & E_y E_z \\ E_z E_x & E_z E_y & E_z^2 - \frac{1}{2} E^2 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

これについて、Maugin²³⁾によれば、先ほどの図4で示した積分経路に沿って同様に積分を行うと、以下の式(4)のようになる。

$$\begin{aligned} F^{(e)inh} &= \int_{\partial R} \{ D \otimes E - \frac{1}{2} (E \cdot D) I_0 \}^T \mathbf{n} ds \\ &= - \int_{\partial R} (\hat{W}^e I_0 - D \otimes E)^T \mathbf{n} ds \end{aligned} \quad (4)$$

なお、式(4)は容易に3次元に拡張することができて、その場合は

$$F^{(e)inh} = \int_{\partial V} \{ D \otimes E - \frac{1}{2} (E \cdot D) I_0 \}^T \mathbf{n} dA \quad (5)$$

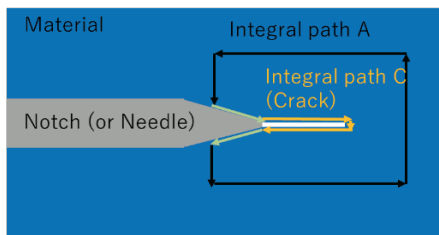
となる。

あらためて式(2)と式(4)の形を見比べる。弾性体のマクスウェル応力を積分した式(2)は、(例えば図4で示したような)き裂が進展する際の駆動力である。アナロジーにより、式(3)の左辺を同様の経路で積分した式(4)も、同様に何らかの駆動力であることが考えられる。ところで、式(3)は静電場のマクスウェル応力であるから、上述の駆動力は静電場によるき裂の駆動力と考えられる。静電場によるき裂としては、一般にトリーが考えられるため、この駆動力は静電場によるトリーの駆動力と推定される。ここでは2次元の2式を取り上げたが、3次元でも全く同様の議論が成り立つことに留意されたい。以下、本稿では1章末尾で述べた動機にしたがって、3次元を前提として計算する。またこれ以降、エネルギー解放率およびマクスウェル応力という用語を、特に記載がない限りは電気的エネルギー解放率および静電場のマクス

ウェル応力の意味で用いる。

2. 3. 積分経路の選択性

積分経路の選択性について、式(1)や式(2)によるエネルギー解放率の計算では、図 5 に示すようなクラック先端近傍の積分経路選択において、積分経路を一周すれば、経路をどのようにとっても同じ結果となる。この性質を経路独立性と呼ぶ^{17), 24)}。この性質に従って、今回求めるエネルギー解放率のイメージを図 6 に示す。静電場の場合は針電極近傍とトリリー近傍の電場を考慮に入れると、図 6 のように大きく分けて 2 つの界面経路選択方法が考えられる。針電極-材料界面を含むような積分経路を(i)、含まないような経路を(ii)とする。今回は、(i)、(ii)それぞれの場合に複数のモデルでの数値計算結果を求め、相対比較により経路選択の妥当性を検証した。



$$F_{\text{Integral path A}} + F_{\text{Integral path B}} + F_{\text{Integral path C}} = 0$$

図 5 積分経路の選択と経路独立性

Fig. 5 Option of integral path and path independence.

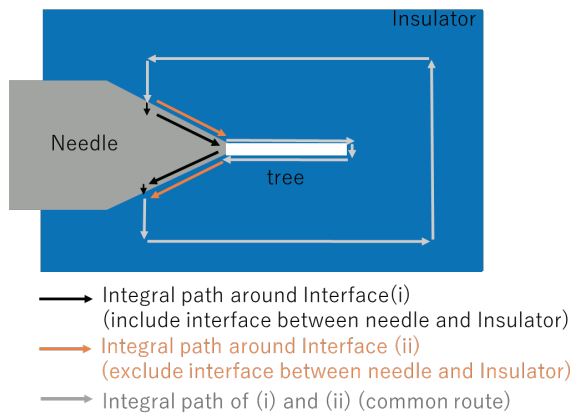


図 6 2 種類の界面経路選択方法

Fig. 6 2 different ways of integral path around interface between the needle and the material.

3. 結果と考察

3. 1. 静電場解析結果

図 7-(a)~(c)に静電場解析で得られた静電ポテンシャルと電場 (y 方向および x 方向) の結果を示す。座標軸は x 軸正方向が画面下部方向、y 軸正方向が画面右、z 軸正方向が紙面上部 (手前) 方向を示すようにとっている。いずれの図も、電極やトリリー断面での情報がわかるよう、試料中央部を中心とした x-y 平面上での断面図を示している。静電場解析の結果、電場はいずれも針先端近傍およびトリリー近傍で電界集中により大きな値となっている。また、トリリーの長さを変えた場合と、針電極電位を変えた場合の y 方向の電場をそれぞれ図 8-(a)~(c)と図 9-(a)~(c)に示す。トリリーの長さと電極電位により、電界の形状や電界の大きさは相応に変化するが、いずれも傾向は同じである。

なお、今回のエネルギー解放率の計算については、電場の対称性から y 成分以外はほぼキャンセルされて 0 に近い値を示すので、以降ではエネルギー解放率の y 成分に絞って議論する。

3. 2. エネルギー解放率の計算における経路選択と経路独立性の検証

図 6 で示した 2 つの界面経路選択方法(i)と(ii)に対し、それぞれ図 10 に示すような複数サイズの積分経路を準備し、各々のエネルギー解放率を計算した結果を図 11 に示す。図 11 中の記号は図 10 の積分経路モデルの記号と対応している。得られた結果から、界面を含まない(ii)の経路のほうが経路依存がなく、妥当な経路選択であることがわかる。

3. 3. エネルギー解放率のトリリー長さ依存性と印加電圧依存性

図 10 中の Y-1 で用いた外形モデルに対して、電気トリリーの長さを変えた場合のエネルギー解放率の変化の様子をプロットしたものを図 12 に示す。トリリーが長くなるにつれて、少しだけエネルギー解放率が上昇している。

また、針電極の印加電位をそれぞれ 10 kV、40 kV、60 kV と変化させたときのエネルギー解放率の変化の様子を図 13 に示す。電位が上昇するにつ

れて、二乗則に従ってエネルギー解放率が上昇していると見られるが、これはエネルギー解放率の算出元になっているマクスウェル応力が電場の二乗に依存していることによるものである。

3. 4. エネルギー解放率の物理的意味に関する考察

今回導入したエネルギー解放率は、トリー進展に要する（最低限の）駆動力であるとしてここまで述べてきた。得られた結果を実際の交流電圧の

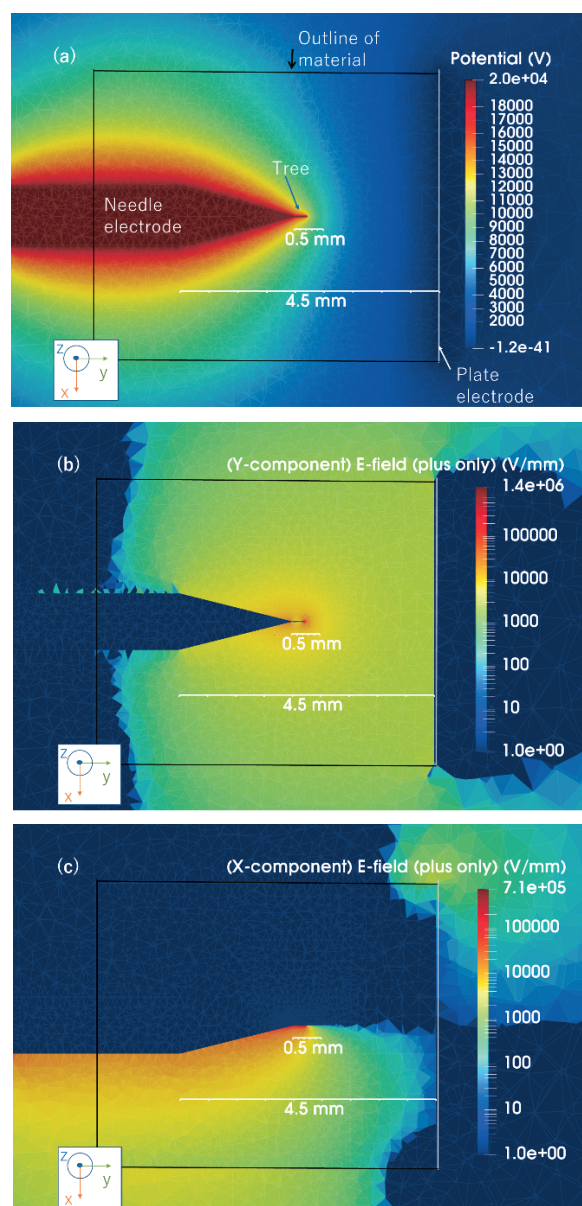


図7 FEMによる標準条件での解析結果。(a) ポテンシャル、(b) y方向電場、(c) x方向電場。

Fig. 7 Results of FEM analysis. (a) Potential, (b) Electric field of y-direction and (c) Electric field of x-direction.

印加時を踏まえて考察すると、印加電圧の位相 $0 \sim \pi/2$ および $\pi \sim 3\pi/2$ において、トリー進展→エネルギー解放率増加（駆動力微増）→印加電圧の絶対値上昇（駆動力増加）→トリー進展→エネルギー解放率増加→・・・（以降繰り返す）という事象のストーリーが一つの仮説として考えられる。例えば Kasinathan²⁵⁾らが発表したトリー進展と部分放電信号検出位相のデータによれば、部分放電信号の集中は印加電圧の位相 $0 \sim \pi/2$ および $\pi \sim 3\pi$

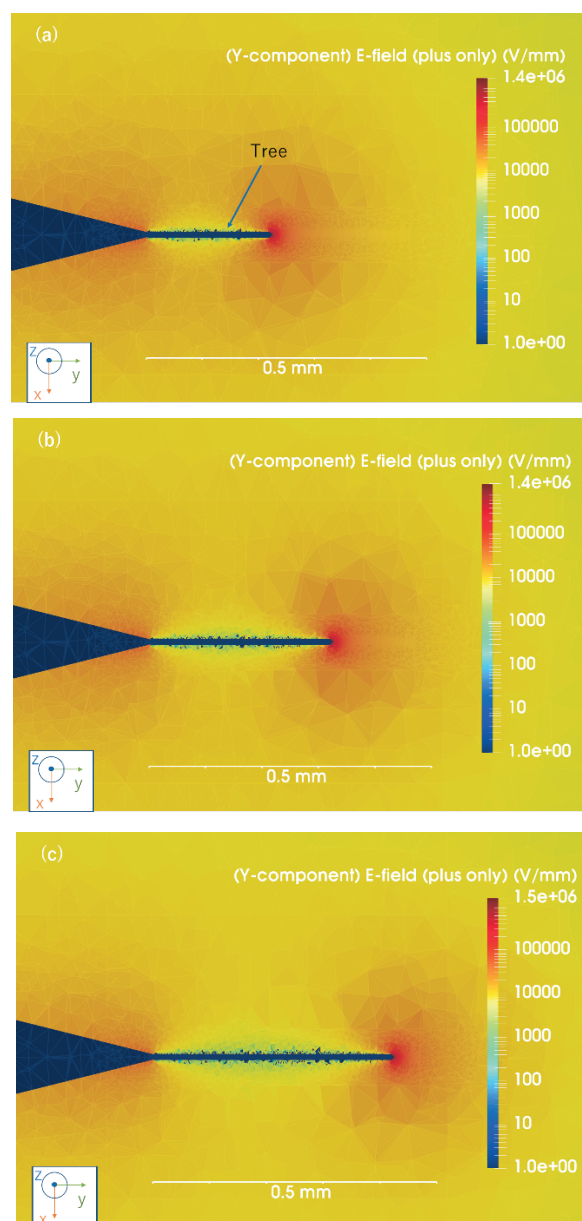


図8 トリー長さを変えたときの y 方向電場のトリー近傍拡大図。トリー長はそれぞれ (a) 0.21 mm、(b) 0.31 mm、(c) 0.41 mm。

Fig. 8 Zoomed pictures of electric field of y-direction when the tree length is (a) 0.21 mm, (b) 0.31 mm and (c) 0.41 mm.

1/2にみられるが、このことと上記の仮説は整合性があると考えられる（ただしこれは部分放電によって材料中ボイドが広がるような現象（＝クラックの開裂）が起こるようなモデルを仮定していることに注意されたい）。同様に、直流電圧よりも交流電圧印加時のほうがより低電圧でトリ－進展が見られやすいことについても、金属材料試験における疲労（疲労破壊）のような、繰り返し負荷の印加による材料へのダメージが関係している可能性が示唆される。

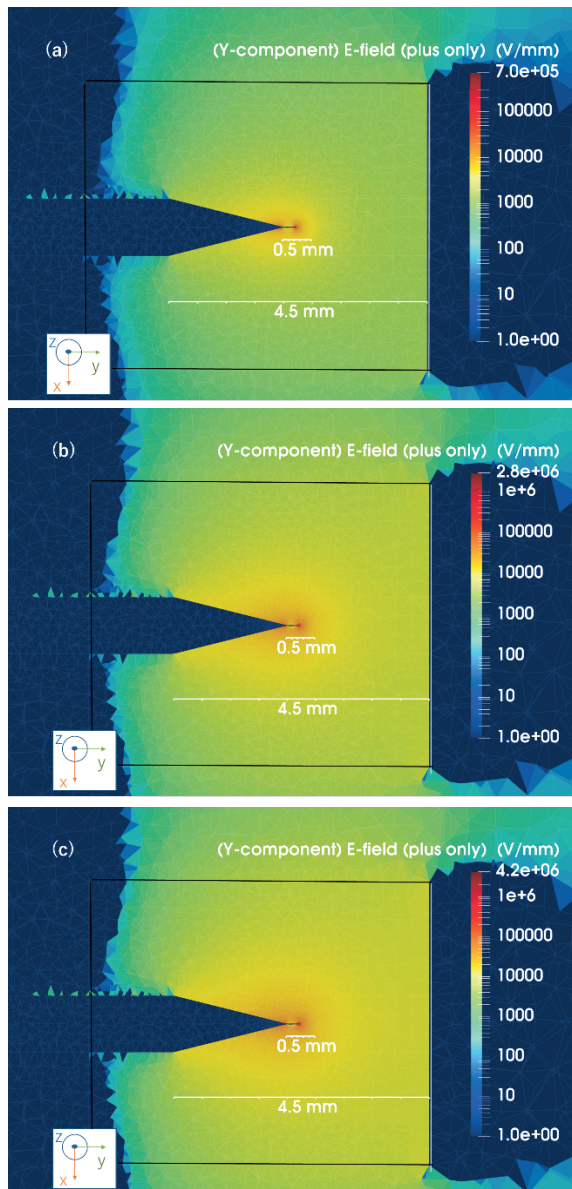


図9 針電極電位を変えたときのy方向電場。それぞれ(a) 10 kV、(b) 40 kV、(c) 60 kV。

Fig. 9 Electric field of y-direction when the applied voltage to needle-electrode changes to (a) 10 kV, (b) 20 kV and (c) 40 kV.

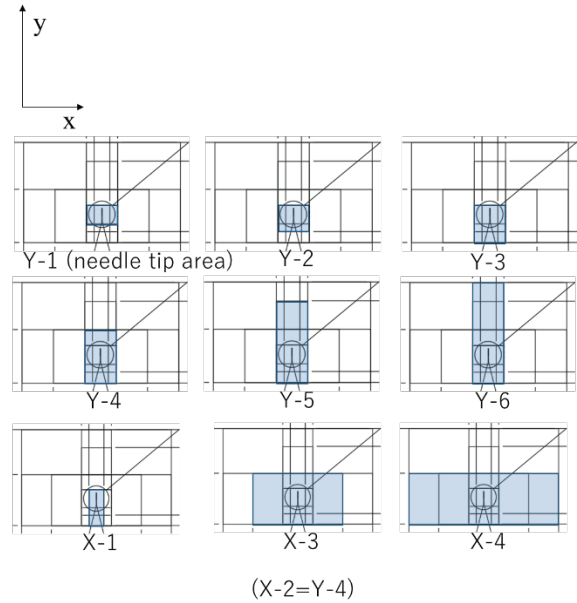


図10 経路独立性を確認するための経路モデル群（水色の領域）

Fig. 10 Models for verifying path independence (blue painted areas).

4. まとめと今後の課題

本研究では、トリ－現象の解析にあたり、力学—電気のアナロジーを利用して、(力学的) エネルギー解放率の概念から電気的エネルギー解放率の概念を導出し、擬1次元の円筒状電気トリ－の3次元有限要素モデルを使って実際にその計算を行った。あわせて積分経路選択の検証を行い、電極表面の特異電場を避ける積分経路を選択してエネルギー解放率を計算する場合には経路独立性があると考えられた。さらに計算パラメータを変更し

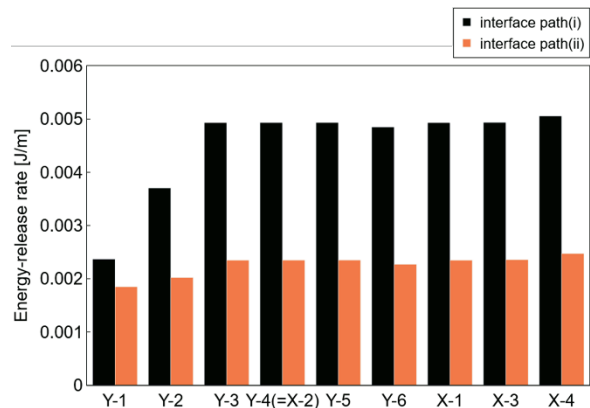


図11 界面経路 (i)と(ii)における各経路モデルを用いたときのエネルギー解放率の値

Fig. 11 Energy-release rate on each model with interface path (i) or (ii).

て、トリー長さで印加電圧が変化した場合のエネルギー解放率の変化を評価した結果、トリーが長くなるとエネルギー解放率が上昇し、印加電圧を上昇させるとより大きくエネルギー解放率が上昇することが確認された。以上の内容から、電気絶縁材料のトリー駆動力の推定手法および駆動力の基礎的性質が明らかになった。

今後の課題としては、数値計算まわりの精度向上のほか、部分放電^{25), 26)}や空間電荷蓄積^{27) - 29)}などの関連がありそうな物理現象との相関を実験的に明らかにすること、繰り返し電圧印加とトリー進展の関係を調査することなどがあげられる。また、本研究ではトリーの枝分岐については簡単のため、いったん無視して考えた。しかし、方向成分に関する議論はトリーイング現象の予測を考えるにあたってはきわめて重要な課題であり、これについては、現在研究を進めているところである。

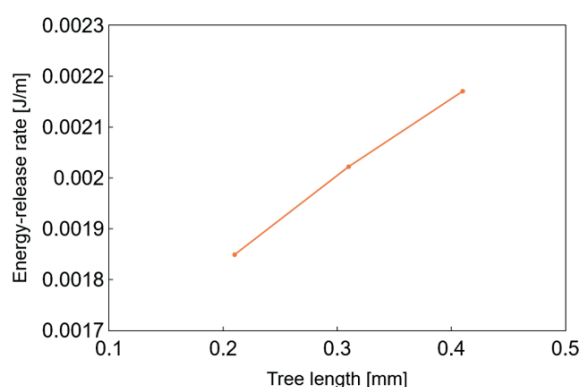


図 12 トリー長さごとのエネルギー解放率

Fig. 12 Energy-release rate for each length of the tree.

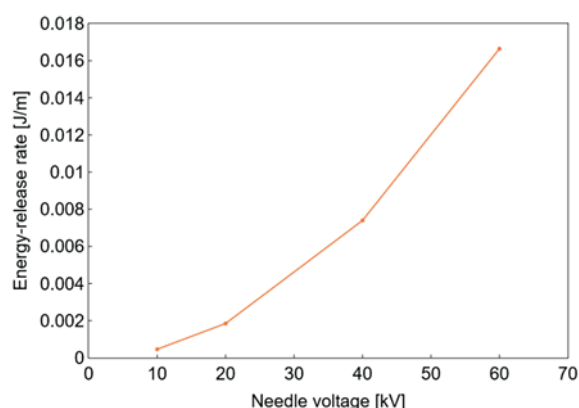


図 13 針電極印加電圧ごとのエネルギー解放率

Fig. 13 Energy-release rate in each applied voltage condition on needle-electrode.

謝辞

本研究は科研費番号 JP17K18441、JP19H02049 および JP20H02140 の援助を受けたものである。また、東京大学山田崇恭准教授からは数式と現象論および研究の方向性について重要な示唆をいただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) W. Wang and S. Li: *2014 Int. Symp. Electr. Insul. Mat.* (ISEIM 2014) (2014) 73-76.
- 2) Y. Yamano: *2014 Int. Symp. Electr. Insul. Mat.* (ISEIM 2014) (2014) 34-37.
- 3) M. Roy, J.K. Nelson, R.K. MacCrone, L.S. Schadler, C.W. Reed and R. Keefe: *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 12 [4] (2005) 629-643.
- 4) B. X. Du, C. Han, Z. Li and J. Li: *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 25 [4] (2018) 1479-1486.
- 5) S. Iwata and R. Kitani: *Electr. Eng.* 100 (2017) 1949-1955.
- 6) W. J. Monzel, B. W. Hoff, S. S. Maestas, D. M. French and S. C. Hayden: *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 22 [6] (2015) 3543-3549.
- 7) R. Kitani and S. Iwata: *IEEE J. Trans. FM* 137 [4] (2017) 196-201.
- 8) R. Kitani and S. Iwata: *2017 Int. Symp. Electr. Insul. Mat.* (ISEIM 2017) (2017) 118-121.
- 9) R. Schurch, S. M. Rowland, R. S. Bradley and P. J. Withers: *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 21 [1] (2014) 53-63.
- 10) S. Iwata: *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 23 [5] (2016) 2556-2561.
- 11) M. Akazaki, C. H. Park, T. Kaneko and M. Hara: *Eng. Sciences Reports Kyushu Uni.* 3 [1] (1981) 17-23.
- 12) T. Hashizume, M. Sone, Y. Toriyama and H. Mitsui: *IEEE J. Trans. FM* 102 [9] (1982) 507-514.
- 13) A. El-Zein, M. Talaat, and M. M. El Bahy: *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 16 [6] (2009) 1724-1734.
- 14) H. Z. Ding and B. R. Varlow: *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 12 [1] (2005) 81-89.

著者略歴

- 15) R. M. MacMeeking: Appl. Phys. 62 [8] (1987) 3116-3122.
- 16) Y. Suzuki, Y. Matsuo, K. Yasuda and S. Kimura: J. Ceram. Soc. JAPAN 100 [1] (1992) 59-65.
- 17) J. Hein and M. Kuna: Procedia Struct. Integr. 2 (2016) 2246-2254.
- 18) J. D. Eshelby: Phil. Trans. Roy. Soc. London 244 [877] (1951) 87-111.
- 19) R. Kienzler and G. Herrmann: "Mechanics in Material Space (Chapters 4 and 8)," Springer Verlag (2000).
- 20) S. Humphries Jr: "Field Solutions on Computers," CRC Press (1997).
- 21) Free FEM, Available: <https://freefem.org/>
- 22) ParaView, Available: <https://www.paraview.org/>
- 23) G. A. Maugin: "Material Inhomogeneities in Elasticity," Chapman and Hall/CRC, (1993).
- 24) T. L. Anderson、(監訳) 栗飯原周二、(訳) 金田重裕、吉成仁志:「破壊力学 基礎と応用 第三版」、森北出版 (2011) 158-160.
- 25) E. Kasinathan, A. Mahajan and N. Gupta: Springer Journal of Electrostatics 87 (2017) 45-50.
- 26) M. Florkowski, B. Florkowska and P. Zydron: IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. 23 [3] (2016) 1294-1302.
- 27) Y. Hayase, H. Aoyama, K. Matsui, Y. Tanaka, T. Takada and Y. Murata: IEEE J. Trans. FM, 126 [11] (2006) 1084-1089.
- 28) M. Abou-Dakka, A. Bulinski and S. Bamji: *11th Int. Symp. Electrets* (ISE 11) (2002) 62-66.
- 29) M. Wadamori, M. Fukuma, T. Maeno, K. Fukunaga and M. Nagao: *7th Int. Conf. on Properties and Applications of Dielectric Mat.* (ICPADM 2003), 3 (2003) 863-866.

(2023 年 5 月 31 日 受理)



木谷 亮太

2012 年 4 月京都大学工学部物理工学科卒業。2013 年から岡山県警察本部刑事部科学捜査研究所勤務を経て、2015 年 3 月京都大学大学院エネルギー科学研究科修士課程修了。同年 4 月から大阪府立産業技術総合研究所（現大阪産業技術研究所）にて製品信頼性、コンピュータシミュレーション等の研究に従事。現在、日本機械学会、電気学会会員。



岩田 晋弥

2011 年 9 月東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻博士後期課程修了。東京大学生産技術研究所特任研究員を経て 2012 年 4 月から大阪府立産業技術総合研究所（現大阪産業技術研究所）にて電気絶縁材料の劣化現象および診断に関する研究に従事。IEEE、電気学会、日本物理学会、日本表面真空学会各会員。博士（工学）。



今谷 勝次

1983 年 3 月京都大学工学部機械工学科卒業。同大学院修士課程、博士後期課程を経て 1986 年 10 月に京都大学工学部助手、1990 年 10 月より京都工芸繊維大学工芸学部助教授。1996 年 5 月に京都大学大学院エネルギー科学研究科助教授、2013 年 12 月より同教授。一般化連続体力学の理論的枠組みや内部構造を考慮した材料モデルの研究に従事。日本機械学会、日本材料学会、日本塑性加工学会会員。工学博士。