

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：84431

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02140

研究課題名（和文）絶縁劣化現象のマルチスケールでの解明

研究課題名（英文）Multiscale modeling of degradation of electrical insulating material

研究代表者

岩田 晋弥（Iwata, Shinya）

地方独立行政法人大阪産業技術研究所・和泉センター・主任研究員

研究者番号：10642382

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、高分子電気絶縁材を対象とし、絶縁劣化、絶縁破壊およびその抑制の解明とシミュレーション手法の構築を主たる目的とした。主に下記の成果が得られた。（1）量子化学計算により原子間結合の開裂力を評価し、酸化による結合力の低下が確認された。（2）分子動力学計算によるポリエチレン架橋剤分解残渣および水の動的特性の評価方法を構築し、提案モデルを検証した。（3）有限要素解析による電気トリーのエネルギー解放率の計算方法を確立した。（4）機械学習、深層学習を活用した位相分解部分放電信号の分類に成功した。（5）電流積分電荷法による電荷の移動モデルを構築した。得られた成果は、学術論文誌を中心に情報発信した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電気絶縁材料は、電力インフラを支える重要な要素のひとつであり、その劣化や破壊の原理解明は、電力の安定供給の観点から不可欠である。本研究は、計算機シミュレーションを積極的に利用し、絶縁劣化の要因や原理を異なるサイズスケールで評価、検証した点において学術的意義がある。また、電気トリー進展の解析においては、有限要素解析によるエネルギー解放率を導出した。これは電氣的破壊と機械的破壊の境界領域を扱い、新規性・独自性が大きい。さらに、電力設備の安定的な運用や高経年化への対策においては、部分放電や微小電流の計測と解析が肝要である。本研究は、その解析精度向上に資する基礎的成果を得ており、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：This study focused on polymer electrical insulating materials, aiming to elucidate the phenomena of degradation, electrical breakdown, and their suppression, and to develop simulation methods. The following results were obtained: (1) The force required to rupture atomic bonds was evaluated using quantum chemical calculations, and the reduction in bond strength due to oxidation was verified. (2) The dynamic properties of polyethylene cross-linking agent decomposition residues and water were assessed using molecular dynamics simulations, and the proposed model was validated. (3) A method for calculating the energy release rate of electrical tree using finite element analysis was established. (4) We achieved successful classification of phase-resolved partial discharge signals using machine learning and deep learning. (5) A model for charge transfer was constructed using the Q(t) method. The results were primarily disseminated through academic journals.

研究分野：電気絶縁

キーワード：絶縁劣化 電気トリー 量子化学計算 分子動力学計算 有限要素解析 エネルギー解放率 部分放電
深層学習

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

電気絶縁材料は、極めて多くの電気製品や電力設備で使用されており、社会基盤を支える重要な要素のひとつである。近年、機器の高電圧・高電界下での駆動、使用される環境の多様化、高圧直流送電の導入などを背景に、従来以上の安全性・信頼性・耐久性が要求されている。一方、高分子材料の絶縁劣化や絶縁破壊には未解明な点が多く、幅広いサイズスケールにおける物理化学的観点での現象解明が必要である。

2. 研究の目的

本研究は、高分子材料を中心とした電気絶縁材を対象とし、絶縁劣化や絶縁破壊およびその抑制に関する現象を幅広いサイズスケールでの解明とシミュレーション手法の構築を主たる目的としている。主な取り組み内容は「(1) 量子化学計算による酸化劣化を模擬した分子の開裂力の検証 (2) 分子動力学計算によるポリエチレン架橋剤分解残渣分子の動的特性の評価 (3) 有限要素解析による電気トリー進展時におけるエネルギー解放率の導出」である。

3. 研究の方法

(1) 密度汎関数理論 (DFT: Density Functional Theory) に基づく COGEF (COstrained Geometries simulate External Force) 法⁽¹⁾によって分子の開裂力を評価した⁽²⁾。計算対象とした分子は、Decane、4-Decanone、ポリエチレン架橋剤 (DCP: Dicumyl peroxide) および DCP が分解したときに生じる分子の一種 (CA: Cumyl alcohol) であり、詳細を図 1(a)-(d) に示す。図中の矢印で示す原子間結合が伸長させた部分である。図 1(e) のような酸化による劣化モデルを参考とし、Decane と 4-Decanone を比較することで、酸素原子の導入が開裂力に与える影響を評価した。COGEF 法では、図 1(f) のように、分子内の原子間距離を変化させながらポテンシャルエネルギー (U) を導出し、その変曲点から最大開裂力 (f_{max}) を求める。本研究では、各分子の構造最適化計算を行った後に、0.005 nm ステップでポテンシャルエネルギーを計算し、開裂力を求めた。COGEF 法で使用した汎関数は UB3LYP、基底関数系は 6-311++G(d,p) である。また、分子静電ポテンシャル (MEP: Molecular Electrostatic Potential) は MK (Merz-Singh-Kollman) 法による電荷情報から導出した。計算エンジンは Gaussian09⁽³⁾ を使用した。

(2) 高分子電気絶縁材へ添加剤を加えることで絶縁劣化が抑制される。これまでに提唱されているモデルでは、添加剤分子の凝集、拡散、周囲分子との相互作用が重要であることが指摘されてきた⁽⁴⁻⁶⁾。特に、ポリエチレン架橋剤の分解残渣は、水分子と相互作用し、空間電荷形成に影響を与えることが指摘されている⁽⁶⁾。本研究では、分子動力学 (MD: Molecular Dynamics) 計算によるモデル検証を行った。MD 計算を利用し、架橋剤分解残渣分子のひとつであるアセトフェノン (AP: Acetophenone) と水分子が $C_{120}H_{242}$ 分子集団中で共存している系において、外部電界がそれぞれの分子の挙動に与える影響を検証した⁽⁷⁾。まず、図 2(a) に示すような MD 計算のセルを作成した。左のセルには $C_{120}H_{242}$ 分子 100 個、右のセルには AP 分子 15 個と水分子 100 個をそれぞれ配置した。セルの接合部分には 1 nm の空間を設けてあり、分子配置時のセル全体の大きさは $5.5 \times 5.5 \times 17.8$ nm である。最急降下法によるエネルギー最小化計算の後に、300 K における 100 ps の NVT (constant-volume and constant-temperature) 計算と 1 ns の NPT (constant-pressure and constant-temperature) 計算を実行し初期構造とした。このときのセル全体のサイズは、 $5.2 \times 5.2 \times 12.7$ nm である。最後に、300 K における 20 ns の NVT 計算を production run として実行し最終構造を得た。この時、図 2(a) の z 軸方向に外部電界 (1 GV/m もしくは 5 GV/m) を印加しその影響を検討した。1 タイムステップは 2 fs とし、1,000 ステップごとにトラジェクトリデータを保存した。また、クーロン相互作用の計算には、PME (Particle-Mesh Ewald) 法を用いた。計算エンジンは GROMACS^(8,9) を利用した。なお、DFT 計算および MD 計算の一部において、京都大学学術情報メディアセンターのスーパーコンピュータを利用した。

(3) 電気トリーのエネルギー解放率の導出を目的とし、図 3(a) のように、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した。次に、電気力学的アナロジーを用いて、機械的なエネルギー解放率⁽¹⁰⁾と同様の議論⁽¹¹⁾で 3 次元での電氣的エネルギー解放率として取り扱えるよう、式を導いた。さらに、図 3(b) に示す手順に従って、有限要素法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、図 3 (c) を三次元化した経路に沿って算出した。

4. 研究成果

(1) 図 4(a) に DFT 計算結果の例として、DCP と CA の構造最適化計算後の MEP、ダイポールモーメント、最高被占軌道 (HOMO: Highest Occupied Molecular Orbital)、最低空軌道 LUMO (LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbital) を示す (Decane と 4-Decanone については、文献⁽²⁾ を参照)。また、図 4(b) に Decane および 4-Decanone の開裂力の計算結果を示す。4-Decanone の最大開裂力は Decane と比較して約 14% 低下しており、酸素原子の導入による影響と考えられる。分子のポテンシャルエネルギーは、ダイポールモーメント、分極率、外部電界等の影響を受ける⁽¹²⁾。今後、絶縁材料として使用される母材分子および添加剤分子について、ポテンシャルモデルから開裂力を導出することが課題である。

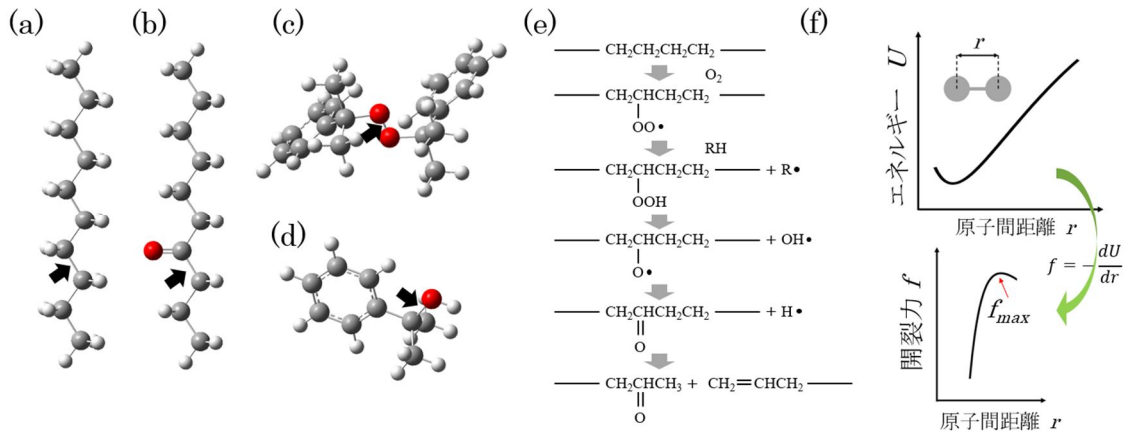


図1 (a) Decane、(b) 4-Decanone、(c) Dicumyl peroxide
(d) Cumyl alcohol、(e) 酸化劣化モデル、(f) COGEF 計算の模式図

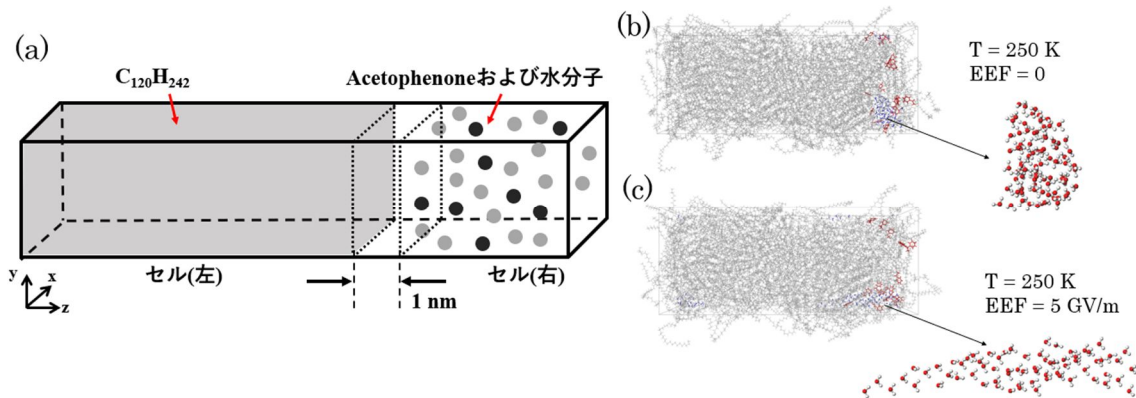


図2 (a) MD 計算セル、(b) 250 K (外部電界なし) の最終構造
(c) 250 K (外部電界 5 GV/m) の最終構造

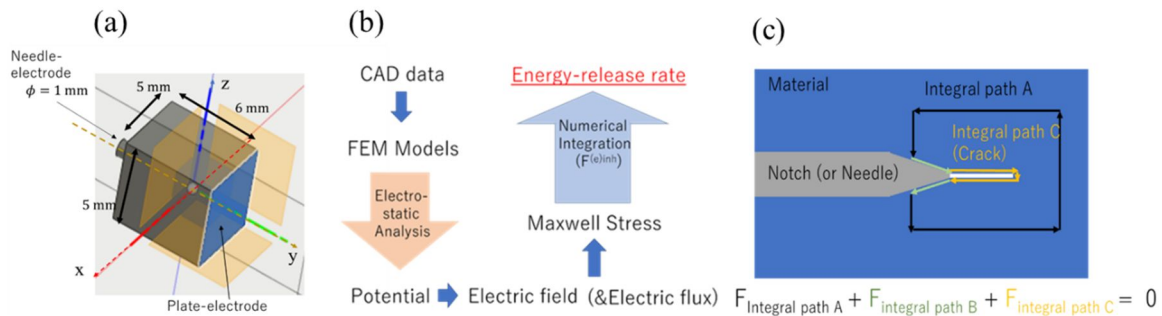


図3 (a) 解析モデル、(b) 解析手順、(c) エネルギー解放率算出の経路 (2次元の例)

(2) 図2(b)および(c)に MD 計算の最終構造の例を示す。図2(b)の水分子の位置は初期構造からほとんど変化していないが、図2(c)においては、水分子がz軸方向に広がっている。また、図5(a)は、400 K、5 GV/mにおける水分子とAP分子のz軸方向の密度プロファイルである。初期状態から比較すると、両分子ともセルの中央付近へ向かって協奏的に移動している。また、図5(b)は250 Kで外部電界が存在しない場合と400 Kで5 GV/mにおける水分子の同径分布関数である (production run 中の19.5 nsから20 nsの間の平均値から導出)。同図から明らかのように、400 K、5 GV/mにおいては、第一近接のピーク強度が小さくなるとともに、第二近接および第三近接のピークがブロードになり、水分子のセル内の移動を示唆している。

(3) 図6(a)に静電場解析による静電ポテンシャルの一例、図6(b)にトリー長を変更した際の電気的エネルギー解放率、図6(c)に正極側にあたる針電極への印加電圧を変化させた際の電気的エネルギー解放率をそれぞれ示す。トリーが進展した際には電気的エネルギー解放率はわずかに大きくなり、印加電圧を変化させた際には、電圧値の2乗に比例してエネルギー解放率が大きくなる。得られた成果は、文献⁽¹³⁾で報告した。本研究では、トリーの枝分岐については考慮していないが、方向成分に関するモデル化は、トリー進展の予測のために極めて重要な要素であるため、今後の課題として研究を継続する。

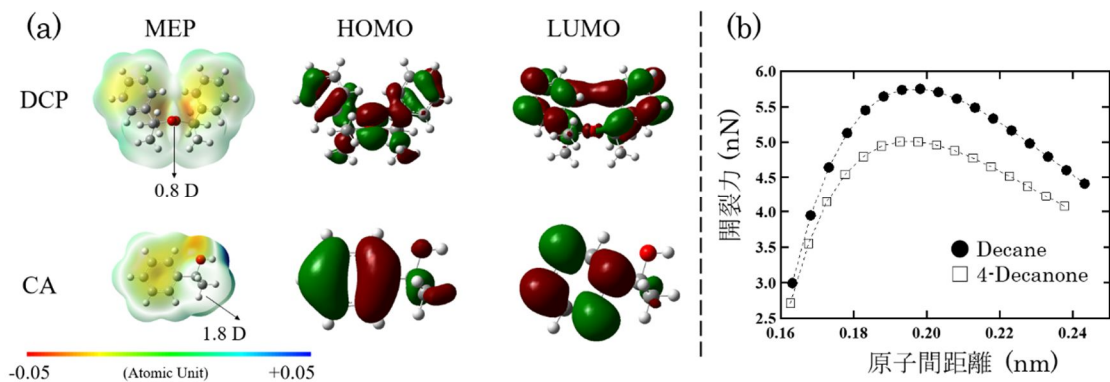


図4 (a) DCP および CA の MEP、ダイポールモーメント、HOMO、LUMO
(b) Decane および 4-Decanone の開裂力

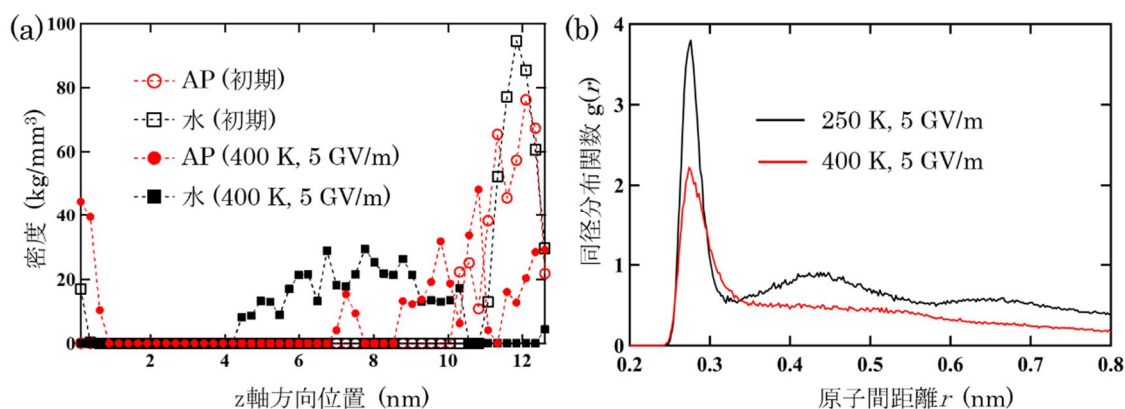


図5 (a) 水および AP 分子の密度プロファイル (b) 水分子の同径分布関数

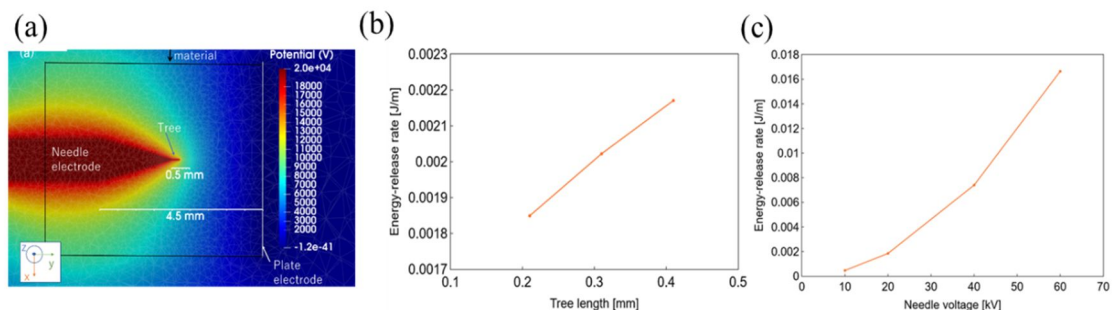


図6 (a) 静電場解析の結果、(b) トリー長ごとのエネルギー解放率、(c) エネルギー解放率の正電極印加電圧依存性

(4) 部分放電は絶縁劣化の初期に生じる微小な放電現象として知られており、劣化診断にも利用される。本研究では、機械学習および深層学習を用い、部分放電の位相パターンデータから放電に使用した電極の分類を行った。特に、ランダムフォレストを用いた解析では、95%以上の正解率で分類が可能であった⁽¹⁴⁾。また、総当たりに評価する手法⁽¹⁵⁾や畳込み深層学習で作成した診断用学習済モデルに SHAP(SHapley Additive exPlanations)を適用し、学習元の画像において推論への影響度が強いエリアの可視化に成功した⁽¹⁶⁾。

(5) 近年、電流積分電荷法(Q(t)法)による高分子電気絶縁材料の評価実験が進められている。電気トリー評価への適応を行い、電気トリー発生過程における電荷の移動モデルを検討した⁽¹⁷⁾。また、フィルム状試料におけるQ(t)実験と量子化学計算によって、材料中の電荷トラップモデルを考察した^(18, 19)。

< 引用文献 >

- (1) M.K. Beyer, "The mechanical strength of a covalent bond calculated by density functional theory", *The Journal of Chemical Physics*, **112** (2000) 7307-7312.
- (2) S. Iwata, H. Uehara, T. Okamoto, T. Takada, "Influence of an external electric field on the rupture force of decane, 4-decanone, and dicumyl peroxide molecules:

- Computational insight”, *Materials Today Communications*, **32** (2022) 103928.
- (3) J.R. Arino, M.J. Frisch, *et. al.*, *Gaussian 09 Revision E.01*, Gaussian, Inc., Wallingford CT, 2013.
 - (4) Y. Sekii, N. Momose, K. Takatori, T. Goto, A study of water tree suppression in polymeric insulating materials, 2000 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, **1** (2000) 347-350.
 - (5) Y. Sekii, N. Momose, K. Takatori, Y. Kanemitsu, T. Goto, Effect of surfactant on water tree generation in XLPE, *Proceedings of the 7th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*, (2003) 927–931.
 - (6) N. Hirai, R. Minami, T. Tanaka, Y. Ohki, M. Okashita, T. Maeno, Chemical group in crosslinking byproducts responsible for charge trapping in polyethylene, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **10** (2003) 320-330.
 - (7) S. Iwata, H. Uehara, T. Okamoto, Y. Sekii, T. Takada, “Influence of external electric fields and temperature on the behavior of water and acetophenone molecules in C₁₂₀H₂₄₂ chains: A molecular dynamics study”, *Materials Today Communications*, **28** (2021) 102514.
 - (8) H.J.C. Berendsen, D. Spoel, R.V. Drunen, GROMACS: a message-passing parallel molecular dynamics implementation, *Computer Physics Communications*, **91** (1995) 43–56.
 - (9) M.J. Abraham, T. Murtolad, R. Schulz, S. Páll, J.C. Smith, B. Hess, E. Lindahl, GROMACS: high performance molecular simulations through multi-level parallelism from laptops to supercomputers, *SoftwareX*, **1–2** (2015) 19–25.
 - (10) J.D. Eshelby, “The Force on an Elastic Singularity”, *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, **244** [877] (1951) 87-111.
 - (11) G.A. Maugin, “Material Inhomogeneities in Elasticity”, Chapman and Hall/CRC, (1993).
 - (12) S.S. Hashjin, C.F. Matta, “The chemical bond in external electric fields: Energies, geometries, and vibrational Stark shifts of diatomic molecules”, *The Journal of Chemical Physics*, **139** (2013) 144101.
 - (13) R. Kitani, S. Iwata, S. Imatani, “Energy-Release Rate in Electrically Deteriorated Materials Introduced by Using Maxwell Stress Tensor at Crack Tip”, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **28** (2021) 1925-1932.
 - (14) S. Iwata, R. Kitani, “Phase-resolved partial discharge analysis of different types of electrode systems using machine learning classification”, *Electrical Engineering*, **103** (2021) 3189-3199.
 - (15) R. Kitani, S. Iwata, “Brute-force Analysis of Insight of Phase-resolved Partial Discharge using a CNN”, *Electrical Engineering*, DOI: 10.1007/s00202-023-01808-4.
 - (16) R. Kitani, S. Iwata, “Verification of Interpretability of Phase-Resolved Partial Discharge Using a CNN With SHAP”, *IEEE Access*, **11** (2023) 4752-7462.
 - (17) R. Kitani, S. Iwata, “Q(t)-measurements of electrically deteriorated polymeric materials under environmental testing”, *Conference proceedings of 9th International Symposium on Electrical Insulating Materials*, (2020) 169-173.
 - (18) H. Uehara, T. Okamoto, S. Iwata, Y. Sekii, T. Takada, “Analysis of Charge Trap Depth Using Q(t) Method and Quantum Chemical Calculation in XLPE and PE with Phenolic Antioxidant”, 2021 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), (2021) 518-521.
 - (19) H. Uehara, T. Okamoto, S. Iwata, Y. Sekii, T. Takada, “Electric Field and Temperature Characteristics of Accumulated Charge Amount in Several Polymeric Insulating Materials Using Q(t) Method and Quantum Chemical Calculation”, 2022 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), (2022) 13-16.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 木谷亮太, 岩田晋弥, 今谷勝次	4. 巻 32
2. 論文標題 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	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電気材料技術雑誌	6. 最初と最後の頁 9~17
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 Iwata Shinya, Uehara Hiroaki, Okamoto Tatsuki, Takada Tatsuo	4. 巻 32
2. 論文標題 Influence of an external electric field on the rupture force of decane, 4-decanone, and dicumyl peroxide molecules: Computational insight	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Today Communications	6. 最初と最後の頁 103928 ~ 103928
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtcomm.2022.103928	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 Kitani Ryota, Iwata Shinya	4. 巻 11
2. 論文標題 Verification of Interpretability of Phase-Resolved Partial Discharge Using a CNN With SHAP	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 4752 ~ 4762
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2023.3236315	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 Kitani Ryota, Iwata Shinya	4. 巻 105
2. 論文標題 Brute-force analysis of insight of phase-resolved partial discharge using a CNN	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Electrical Engineering	6. 最初と最後の頁 2373 ~ 2382
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00202-023-01808-4	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 Uehara H., Okamoto T., Sekii Y., Iwata S., Takada T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Electric Field and Temperature Characteristics of Accumulated Charge Amount in Several Polymeric Insulating Materials Using Q(t) Method and Quantum Chemical Calculation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena	6. 最初と最後の頁 13 ~ 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CEIDP55452.2022.9985349	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 Kitani Ryota, Iwata Shinya, Imatani Shoji	4. 巻 28
2. 論文標題 Energy-Release Rate in Electrically Deteriorated Materials Introduced by Using Maxwell Stress Tensor at Crack Tip	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation	6. 最初と最後の頁 1925 ~ 1932
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TDEI.2021.009692	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 Iwata Shinya, Uehara Hiroaki, Okamoto Tatsuki, Sekii Yasuo, Takada Tatsuo	4. 巻 28
2. 論文標題 Influence of external electric fields and temperature on the behavior of water and acetophenone molecules in C120H242 chains: A molecular dynamics study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Today Communications	6. 最初と最後の頁 102514 ~ 102514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtcomm.2021.102514	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 Iwata Shinya, Kitani Ryota	4. 巻 103
2. 論文標題 Phase-resolved partial discharge analysis of different types of electrode systems using machine learning classification	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrical Engineering	6. 最初と最後の頁 3189 ~ 3199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00202-021-01306-5	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 Uehara H., Okamoto T., Sekii Y., Iwata S., Takada T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis of Charge Trap Depth Using Q(t) Method and Quantum Chemical Calculation in XLPE and PE with Phenolic Antioxidant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena	6. 最初と最後の頁 518 ~ 521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CEIDP50766.2021.9705439	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 H. Uehara, T. Okamoto, S. Iwata, Y. Sekii, T. Takada, Y. Cao	4. 巻 -
2. 論文標題 Energy Level Gradient Under Electric Field Revealed by Molecular Dynamics Simulation of Polyethylene and Antioxidant	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena	6. 最初と最後の頁 189-192
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 該当する

1. 著者名 R. Kitani, S. Iwata	4. 巻 -
2. 論文標題 Q(t)-measurements of electrically deteriorated polymeric materials under environmental testing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 International Symposium on Electrical Insulating Materials	6. 最初と最後の頁 169-172
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 高田達雄, 橘川昂平, 植原弘明, 岩田晋弥	4. 巻 DEI-21-051
2. 論文標題 Q(t)測定によるXLPEでの電荷蓄積の計測時間依存性の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会 誘電・絶縁材料/電線・ケーブル合同研究会資料	6. 最初と最後の頁 7-12
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 無
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 岩田晋弥, 植原弘明, 岡本達希, 関井康雄, 高田達雄	4. 巻 S4
2. 論文標題 高分子材料の絶縁劣化と劣化抑制メカニズムの検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 令和3年電気学会全国大会シンポジウム講演論文	6. 最初と最後の頁 21-24
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 無
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11件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 木谷亮太, 岩田晋弥, 今谷勝次
2. 発表標題 エネルギー解放率に基づく電気絶縁材料劣化現象の駆動力推定
3. 学会等名 第334回電気材料技術懇談会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩田晋弥, 今井隆浩, 植原弘明
2. 発表標題 エポキシ樹脂を中心とした機器用絶縁における量子化学計算の活用
3. 学会等名 電気学会令和4年 基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩田晋弥
2. 発表標題 計算機シミュレーションを活用した絶縁劣化およびその抑制原理の検討
3. 学会等名 電気学会四国支部講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Uehara, T. Okamoto, S. Iwata, Y. Sekii, T. Takada
2. 発表標題 Electric Field and Temperature Characteristics of Accumulated Charge Amount in Several Polymeric Insulating Materials Using Q(t) Method and Quantum Chemical Calculation
3. 学会等名 2022 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Uehara, T. Okamoto, S. Iwata, Y. Sekii, T. Takada
2. 発表標題 Analysis of Charge Trap Depth Using Q(t) Method and Quantum Chemical Calculation in XLPE and PE with Phenolic Antioxidant
3. 学会等名 2021 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩田晋弥, 植原弘明, 岡本達希, 関井康雄, 高田達雄
2. 発表標題 アセトフェノンおよび水が高分子絶縁劣化に与える影響～分子動力学計算による評価～
3. 学会等名 令和3年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩田晋弥, 植原弘明, 岡本達希, 関井康雄, 高田達雄
2. 発表標題 高分子材料の絶縁劣化と劣化抑制メカニズムの検討
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田達雄, 岩田晋弥, 橘川昂平, 植原弘明
2. 発表標題 Q(t)測定によるXLPEでの電荷蓄積の計測時間依存性の評価
3. 学会等名 電気学会 誘電・絶縁材料/電線・ケーブル合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Uehara, T. Okamoto, S. Iwata, Y. Sekii, T. Takada, Y. Cao
2. 発表標題 Energy Level Gradient Under Electric Field Revealed by Molecular Dynamics Simulation of Polyethylene and Antioxidant
3. 学会等名 2020 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Kitani, S. Iwata
2. 発表標題 Q (t)-measurements of electrically deteriorated polymeric materials under environmental testing
3. 学会等名 2020 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩田晋弥, 植原弘明, 関井康雄, 高田達雄
2. 発表標題 高分子材料の絶縁劣化抑制原理の解明～分子動力学計算による界面活性剤の機能検証～
3. 学会等名 令和2年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2020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	木谷 亮太 (Kitani Ryota) (90761619)	地方独立行政法人大阪産業技術研究所・和泉センター・研究員 (84431)	

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