

平成 21 年 6 月 14 日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560306
 研究課題名(和文) 有機材質の真空中の沿面放電誘発に対する低2次電子放出材被膜の効果
 研究課題名(英文) Effect of the coating layer with low secondary electron coefficient on breakdown voltage of epoxy resin in vacuum
 研究代表者
 池田 佳隆(IKEDA YOSHITAKA)
 独立行政法人日本原子力研究開発機構・経営企画部・研究主席
 研究者番号：40391255

研究成果の概要：

エポキシ樹脂の2次電子放出係数及び脱ガスと絶縁破壊電圧との関係を調べた結果、樹脂の2次電子放出係数はセラミックの約1/8であり、その絶対値は電子雪崩が生じにくい1以下であったが、破壊電圧はアルミナセラミックの半分以下であった。また、樹脂内の親水基を下げ、脱ガス量を低減することによって、樹脂の耐電圧を大幅に改善した。これらの結果は、エポキシ樹脂の沿面放電は樹脂の脱ガス量に強く依存することを示すものである。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電気機器工学

キーワード：真空耐電圧、沿面放電、2次電子、脱ガス、排気、ベーキン、脱ガス、排気

1. 研究開始当初の背景

近年の科学技術の発展に相まって、電力輸送をはじめ、多くの分野での電気機器の高電圧化が要請されている。特に、高電圧化に伴う耐電圧機器の大容量化、大型化においては絶縁体沿面における絶縁技術の向上が不可欠であるが、ガラス繊維強化プラスチック(FRP)で代表される有機絶縁材料に関しては、セラミック材料に比べ安価で且つ大型化が容易であるものの、その真空中における沿面放電に対する耐電圧特性を決定する要因が十分解明されていないのが現状である。特に有機絶縁材では金属電極とロー付けが不可能なことから、フランジ構造で真空封止を行うことが一

般であるが、このことは電極と絶縁材との微小ギャップが存在しており、その箇所での微小放電が沿面放電に発展する可能性がある。最近、真空中でFRPを用いた絶縁構造体に高電圧印加を行うと、連続スペクトル波長の有する発光現象が生じること、さらに、その発光現象が起きると耐電圧特性が不安定となり頻繁に放電破壊を引起すことが明らかとなってきた。このことは電子衝撃による発光の可能性を示している。

加えて、耐電圧特性と強い相関があると予想される2次電子放出係数、脱ガス量や誘電率と測定絶縁破壊電圧との相関については明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、有機材料を用いた絶縁構造体での発光現象のメカニズムを解明することである。加えて、2次電子放出特性や脱ガス特性が異なるエポキシ樹脂を作成し、それぞれのエポキシ樹脂の絶縁破壊電圧を測定し、2次電子放出特性や脱ガス特性が沿面放電に与える影響を明らかにし、有機材料を用いた絶縁構造体における真空中の沿面放電抑制技術の確立に貢献する。

3. 研究の方法

表1に示す分子構造が異なる4つのエポキシ樹脂の試料を作成し、それぞれの2次電子放出係数、脱ガス量、絶縁破壊電圧を測定し、それぞれの相関関係について調べた。

- (1) 2次電子放出係数は図1に示す方法で測定した。
- (2) エポキシ樹脂の絶縁破壊電圧に対するピーキング効果について測定した。測定体系を図2に示す。

表1 今回実験で用いたエポキシ樹脂試料

	エポキシA (低脱ガスエポキシ樹脂)	エポキシB (Aにシリカ粒子50%充填)	エポキシC (スタイキスト2850FT)	エポキシD (エポキシBの作成過程で未脱泡処理)
充填材	なし	熔融シリカ	なし	熔融シリカ
放出ガス	2層目に少ない	最も少ない	多い	多い
ポイドの有無	無し	無し	無し	有り
比誘電率	3.7	4.1	6.7	-

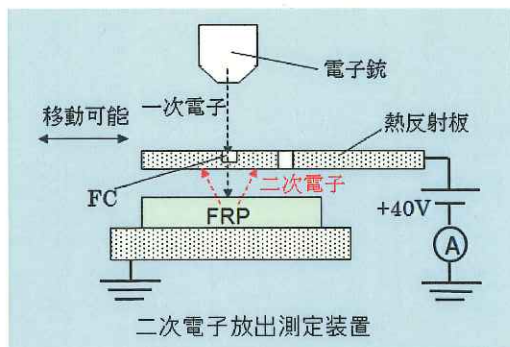


図1 2次電子放出係数測定系

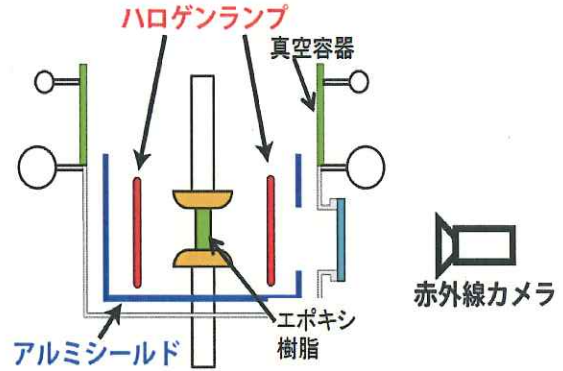


図2 ピーキング効果測定のための実験体系

4. 研究成果

エポキシ樹脂で代表される有機絶縁材の沿面放電の解明に向けて、数種類のエポキシ樹脂の沿面放電特性を調べた。その結果以下の結果が得られた。

- (1) エポキシ樹脂に電子を照射し、その時の発光を分光器で測定した。その結果、エポキシ樹脂のカソードルミネッセンスの波長は300-600nmの比較的広い領域に分布することが分かった。(図3)

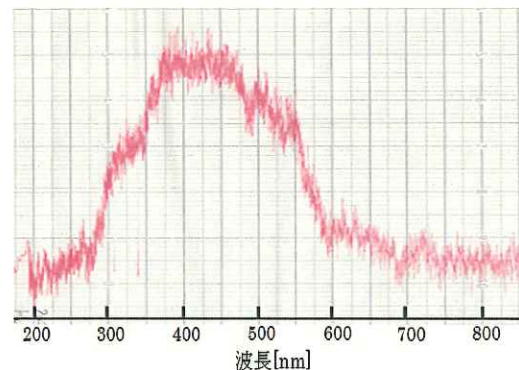


図3 典型的なカソードルミネッセンスの波長

- (2) 親水基が少なく、脱ガス量が従来のエポキシ(C)の1/10である低放出ガスエポキシ樹脂(A, B)の2次電子放出率は全ての電子エネルギー領域で1以下であり、Cの約半分であった。また、A, Bの絶縁破壊電圧はCより3倍以上高かった。この結果は、エポキシ樹脂の脱ガス量(親水基)を低減することによって、耐電圧を改善できることを示している。(図4, 5)。

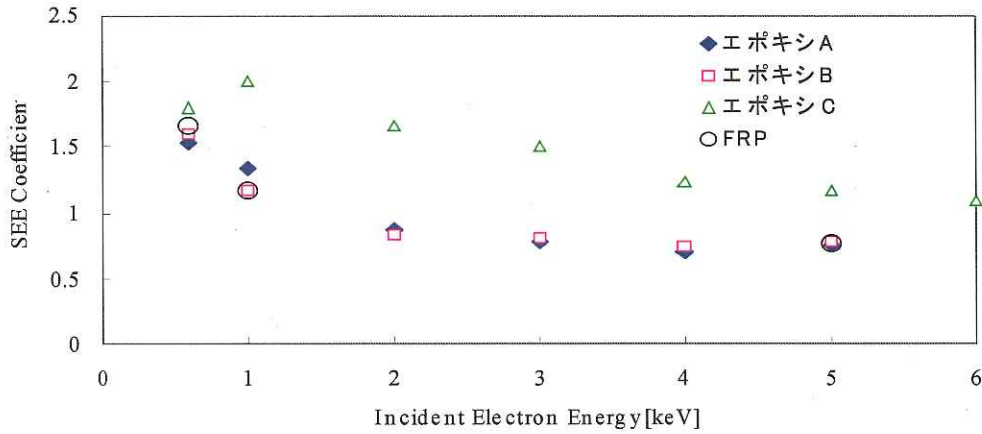
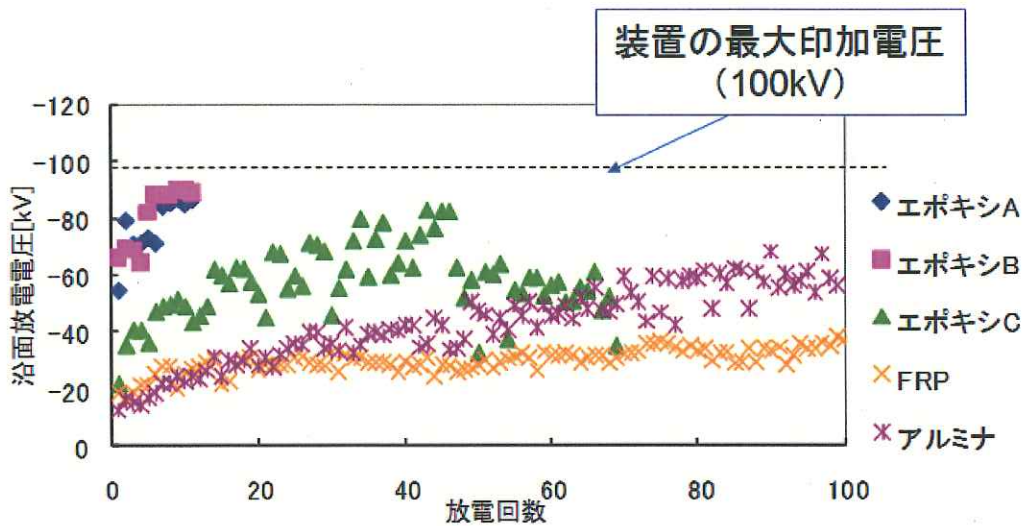


図4 2次電子放出係数



	エポキシA	エポキシB	エポキシC	FRP	アルミナ
初回放電 電圧[kV]	-68.4 / - 54.5	-66.3 / - -58.6	-22.0 / - -33.6	-18.7	-12.5
最大放電 電圧[kV]	-105.3 / - 87.0	-89.8 / - -98.4	-82.7 / - -76.3	-38.0	-68.0

図5 各サンプルの沿面放電電圧特性

(3) この結果を受けて、エポキシ樹脂をベーキングし、脱ガス量と絶縁破壊電圧との相関について調べた。140℃-200℃でベーキングした場合、高温のためにエポキシ樹脂が変質し、ベーキング後の絶縁破壊電圧はベーキング前の11%-60%まで低下した。この結果、エポキシ樹脂の場合、

単純にベーキングによる耐電圧改善は期待できないことが分かった(図6)。
 (4) 加えてエポキシ樹脂をベーキングした場合、エポキシ樹脂を取り除いた金属電極のみの耐電圧はベーキング前に比べて劣化した。この結果及び高電圧印加中のガス質量分析から、ベーキングによっ

て、エポキシ樹脂から活性な炭素が樹脂から金属に付着し、耐電圧を劣化したと推察できる。

- (5) 1)-5)の結果から、エポキシ樹脂を絶縁材として用いる場合には、樹脂の親水基の低減を図るとともに、樹脂を支持する金属へのガス（活性な hidrocarbon）の付着を抑制するために、エポキシ樹脂から放出したガスを効果的に排気するなどの対策を講じる必要があることが分かった。

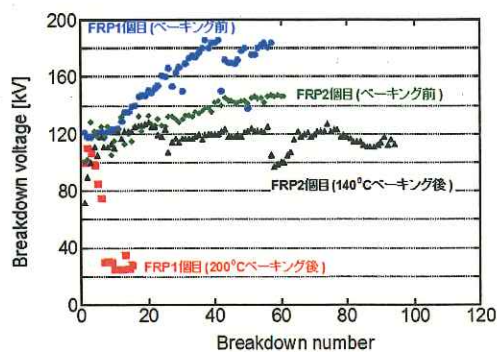


図6 ベーキング前後の絶縁破壊電圧

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)

[雑誌論文] (計9件)

- ① Y. Yamanou et al., Surface discharge related properties of fiberglass reinforced plastic insulator for use in neutral beam injector of JT-60U, Rev. Sci. Instrum, 査読あり、79、2008、02A524-1-4
- ② 山納 康 他、エポキシ樹脂の真空中沿面放電特性と二次電子放出特性、電気学会放電研究会資料、電気学会放電研究会資料、査読無し、ED-08-56、2008
- ③ 小林 薫、JT-60 負イオン源における無負荷時の絶縁破壊位置、JAEA-tech2008-042、査読なし、2008
- ④ 花田 磨砂也 他、大型FRP絶縁管を有するJT-60 負イオン源の真空耐電圧特性、電気学会放電研究会資料、電気学会放電研究会資料、査読なし、ED0855、2008
- ⑤ K. Kobayashi et al., Conditioning Characteristics of DC500kV Large Electrostatic Accelerator in

Negative-Ion Based NBI on JT-60U, Proc 23rd Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, 査読なし、2、2008、pp.541-544

- ⑥ Y. Tanaka et al., Energy Spectra of X-ray Emitted from Surface of FRP Insulator, Proc 23rd Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, 査読なし、2、2008、pp.545-548
- ⑦ Y. Tanaka et al., Energy Spectra of Bremsstrahlung X rays emitted from an FRP insulator, IEEE transactions on plasma science, 査読あり、accepted, 2009.
- ⑧ Y. Tanaka et al., Development of negative-ion-based NBI toward JT-60SA, Plasma and Fusion Research, 査読あり、accepted, 2009
- ⑨ K. Kobayashi et al., Characteristics of voltage holding capability in multi-stage large electrostatic accelerator for fusion application, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 査読あり、Vol.16, Issue 3, pp. 871-875, June 2009.

[学会発表] (計9件)

- ① 山納 康、真空絶縁破壊試験用の銀ろう電極の製作とXPS表面分析、電気学会全国大会、2009年3月19日、北海道大学
- ② 佐々木 駿一、イオン源加速部の耐電圧試験、平成19年度核融合科学研究所技術研究会、2008年3月11日、土岐市
- ③ 小林 薫、JT-60U 負イオン源における無負荷時の絶縁破壊位置、日本原子力学会2008年春の年会、2008年3月27日、大阪大学
- ④ Y. Takaka., Development of Negative ion based neutral beam injector toward JT-60SA, International Congress on Plasma Physics, 2008年9月8日、Fukuoka
- ⑤ K. Kobayashi et al., Conditioning Characteristics of DC500kV Large Electrostatic Accelerator in Negative-Ion Based NBI on JT-60U, 23rd Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, 2008年9月11日 Bucharest
- ⑥ Y. Tanaka et al., Energy Spectra of X-ray Emitted from Surface of FRP

- Insulator, Proc 23rd Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, 2008年9月11日, Bucarest
- ⑦ 田中 豊, JT-60U 負イオン源の耐電圧改善, 第25回プラズマ・核融合学会年会, 2008年12月2日, 宇都宮
- ⑧ 池田 佳隆, T-60SA に向けた NBI 開発状況, 平成19年度 核融合科学研究所共同研究研究会「負イオン生成および負イオンビーム加速とその応用」, 2007年7月28日、核融合科学研究所
- ⑨ Y.Yamonou et.al., Surface discharge related properties of fiberglass reinforced plastic insulator for use in neutral beam injector of JT-60U, The 12th Inter. Conf. on Ion SoICIS2007, 2007年8月28日, 韓国 濟州島

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 佳隆 (IKEDA YUSHITAKA)
独立行政法人日本原子力研究開発機構・経営企画部・研究主席
研究者番号: 40391255

(2) 研究分担者

小林 信一 (KOBAYASHI SHINITI)
埼玉大学・理工学研究科・教授
研究者番号: 40008876

山納 康 (YAMANOU YASHUSHI)
埼玉大学・理工学研究科・助教
研究者番号: 30323380

花田 磨砂也 (HANADA MASAYA)
独立行政法人日本原子力研究開発部門・核融合研究開発部門・研究主幹
研究者番号: 40354641

鎌田 正輝 (KAMADA MASAKI)
独立行政法人日本原子力研究開発部門・核融合研究開発部門・博士研究員
研究者番号: 50397288

(3) 連携研究者

なし