

二国間交流事業 共同研究報告書

平成 24年 1月 31日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

共同研究代表者所属・部局 埼玉大学・大学院理工学研究科

職・氏名 教授・小林 信一
(ふりがな) こばやし しんいち

1. 事業名 相手国 (中国) との共同研究 振興会対応機関 (NSFC)

2. 研究課題名 真空絶縁方式の利用拡大を目指した沿面放電現象の解明とその抑制技術の研究

3. 全採用期間

平成 21 年 4 月 1 日 ~ 平成 23 年 12 月 31 日 (2 年 9 ヶ月)

4. 経費総額

(1) 本事業により執行した研究経費総額 3,962,000 円

初年度経費 1,438,000 円、 2年度経費 1,312,000 円、 3年度経費 1,212,000 円

(2) 本事業経費以外の国内における研究経費総額 0 円

5. 研究組織

(1) 日本側参加者（代表者は除く）

氏名 <small>(ふりがな)</small>	所属・職名	研究協力テーマ
山納 康 <small>やまのう やすし</small>	大学院理工学研究科・准教授	研究全般
巖倉 和寛 <small>いわくら かずひろ</small>	大学院理工学研究科・博士前期課程	二次電子計測および浴面放電試験
松澤 仁 <small>まつざわ じん</small>	大学院理工学研究科・博士前期課程	ガス放出計測
早川 智貴 <small>はやかわ ともき</small>	大学院理工学研究科・博士前期課程	二次電子計測
金子 広樹 <small>かねこ ひろき</small>	大学院理工学研究科・博士前期課程	ガス放出計測
福田 英昭 <small>ふくだ ひであき</small>	大学院理工学研究科・博士前期課程	浴面放電試験および帯電測定

(2) 相手国側研究代表者

所属・職名・氏名 西安交通大学・教授・Guan-Jun Zhang

(3) 相手国参加者（代表者は除く）

氏名	所属・職名（国名）	研究協力テーマ
Junbo Deng	西安交通大学・講師(中国)	研究全般
Kai-Kun Yu	西安交通大学・PhD student(中国)	マシナブルセラミックスの浴面放電試験
Xiwei HAO	西安交通大学・PhD student(中国)	帯電シミュレーション
Haibao Mu	西安交通大学・PhD student(中国)	帯電計測
Xuezheng Huang	西安交通大学・Master student(中国)	浴面放電試験

6. 研究実績概要

本研究では、埼玉大学（日本）および西安交通大学（中国）の両国間の連携によって、真空中における高電圧絶縁の高度化を目的として、それに関する実験とシミュレーションが実施された。特に固体絶縁体の表面で発生する沿面放電の抑制、高耐圧化と沿面放電のメカニズムの解明のための基礎的なデータを取得した。

真空中の沿面放電は多くの絶縁体表面の物性パラメータに関わる極めて複雑な現象であるため、本研究では、これらのパラメータについて日本側と中国側でそれぞれ分担して調査を行った。具体的には、絶縁材料の二次電子放出特性の測定、絶縁体からの電子衝撃によるガス放出の測定を実施した。

セラミックスを代表とする無機系材料(アルミナセラミックスおよびマシナブルセラミックス)について、二次電子放出特性を取得した。マシナブルセラミックスに関しては焼結条件の異なるものについて、また、表面粗さの異なるものについて調査し、その結果、マシナブルセラミックスは、アルミナセラミックスと比べて、二次電子放出係数が1/2~1/3程度低い値を示すことが明らかになった。その他、PTFE, LDPE, HDPE を代表とする多くの有機絶縁体の二次電子放出特性を取得した。

3種類の有機絶縁体試料（PTFE, LDPE, HDPE）について、真空沿面放電時に起こる電子衝撃脱離ガス分析を行った。2keV~8keVのエネルギーの電子ビームを照射したところ、PTFEにおいては、電子衝撃脱離ガス成分として $m/e:2(H_2)$, 19(HF), 20(HF), 28(CO), 40(炭化水素), 50(CF₂), 69(CF₃) が観測された。LDPE, HDPE においては、主な電子衝撃脱離ガス成分としては $m/e:2(H_2)$ であることが明らかになった。今回の3種類の有機絶縁体材料では、PTFE の脱離ガス量が最も少なく、LDPE, HDPE の脱離ガス量は同程度で、PTFE よりは10倍以上多いことが明らかになり、有機絶縁体における電子衝撃脱離ガス特性が明らかになった。

真空沿面放電現象のメカニズム解明のために、真空沿面放電時の絶縁体上帯電分布のリアルタイム測定を行い、両国間で真空中の沿面放電時におけるセラミック材料の帯電測定を実施した。西安交通大学で取得されている帯電測定結果（リアルタイム測定でなく電圧印加後の帯電測定結果）と比較したところ、日本側のリアルタイムの帯電分布測定結果と相違があることが明らかになった。これは、電極形状の違いもあるが、日本側の測定は電圧が印加されている状態で測定されていることが理由として挙げられた。

真空沿面放電と帯電の理論解析と数値シミュレーションを実施した。この数値シミュレーションには、上記の物性パラメータの測定結果を利用して、帯電測定結果との比較を行った。モンテカルロ法を用いた沿面放電の前駆帯電分布のシミュレーションが行われた。また、モンテカルロ法とPIC(Particle in Cell)手法を組み合わせた真空中の帯電シミュレーションが行われた。このシミュレーションでは高周波電場中の真空中の絶縁体表面での帯電の様子を明らかにすることができた。実測で得られた沿面放電時の帯電分布の結果とは必ずしも一致していないが、これには帯電に関わる物性パラメータの相違や電極形状の違いなどが影響していると考えられる。

両国の既存の実験装置において、マシナブルセラミックスおよびアルミナセラミックスの真空中の沿面放電特性を取得した。日本での不平等電界下における沿面放電特性を取得した結果、マシナブルセラミックスの一部は、アルミナセラミックスよりも高い耐電圧特性を持つことがわかった。不平等対称型電界下で真空沿面放電特性は、アルミナセラミックスよりもマシナブルセラミックスの耐電圧が最大で14%程度増加している。これらの結果より、真空中の沿面絶縁に対してマシナブルセラミックスの有用性が明らかになった。

以上より、本研究では計画された実験やシミュレーションを実施し、研究目的を概ね達成することができた。