

Basic research on space environment adaptability of high voltage cable for SSPS

Yusuke Sadakane, Hirokazu Masui, Kazuhiro Toyoda, Mengu Cho (KIT),

Tatsuhito Fujita (JAXA)

The power generating system using the space energy, that is called SSPS (Space Solar Power Satellite), is researched as a solution of the energy problem on earth. The SSPS is a system that transmits the power generated in space to the ground. To operate the SSPS, a high insulation performance is requested for the power cable. The power generated with solar battery in space is transmitted from the power generation part to the power transmission part via the power cable. It is necessary to transmit electricity with a high voltage to transmit the power with reducing a power loss in the cable. A high voltage is applied to the coating of the power cable. Therefore, the high insulation performance is requested in the insulation coating of the cable. In this paper, the insulation performance of the cable in the vacuum environment was examined as a basic research of the high voltage cable using in SSPS.

The voltage was applied to the test sample by a power supply. Test sample were Spec55 (Raychem co.) and plastic insulation wire. Sample was set on the copper tape grounded. In setting 1, an end of the cable was not connected to anywhere. The voltage is applied to another end. In setting 2, the sample length was 20cm. In setting 3, the voltage was applied to both ends of the cable. The testing time duration of applying voltage was 15min for each case.

When a high voltage was applied to the cable, the discharge occurred between the cable and the conductor. The flashover discharge occurred between the high voltage part and the conductor when there was a conductor near the exposed part applied a high voltage. It is necessary to insulate completely the part applied high voltage in SSPS.

In future, it is necessary to study the influence of the discharge occurred between the cable and the conductor on the coating as future tasks because the SSPS has an operational life for 30 years. Moreover, it is necessary to examine the influence of the environment (ultraviolet rays and high energy electron at the heat cycle) in the operational orbit of SSPS.

SSPS 用高電圧ケーブルの宇宙環境適応性に関する基礎研究

貞包 悠佑、増井 博一、豊田和弘、趙 孟佑(九工大)、藤田辰人(JAXA)

序論

近年の電力消費量の増加への対応策として、宇宙エネルギーを利用する SSPS(Space Solar Power System)の研究及び開発が行われている。電力利用までの流れとして赤道上空の静止軌道上で収集した太陽光を電力に変換し、地上へ送電し電力として供給する 1 GW 級の電力供給システムである。宇宙空間において、太陽電池パドルにより発電された電力は、発電部から送電部へ電力ケーブルにより送電される。発電した電力を損失少なく送電するためには、高い送電電圧で送電する必要がある。電力ケーブルの被覆には高電圧が印加されるため、被覆には高い絶縁性能が必要とされる。電力ケーブルは SSPS 本体表面に配線されるため宇宙環境に直接曝される。SSPS の運営年数は 30 年と予定されており静止軌道 30 年間の熱サイクルに耐えうる耐久年数が求められる。また真空環境下での耐紫外線が必要となる。本論では、基礎研究として真空環境でケーブルに高電圧を印加するとどうなるかを試験したのでその結果について述べる。

実験装置

実験は、真空チャンバー内で行った。試験回路を図 1 に示す。接地した銅テープをチャンバー内に設置し、その上にケーブルを設置した。2 種類のセッティングで実験を行った。ケーブルの長さを 20cm にし、コネクタ銅テープ間の距離を 10cm としたセッティング 1 と、導入端子にケーブルを直接接続したセッティング 2 で実験を行った。

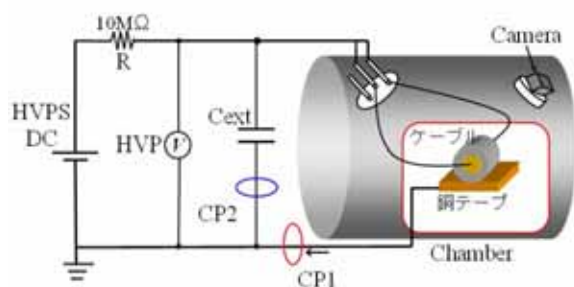


図 1 試験回路

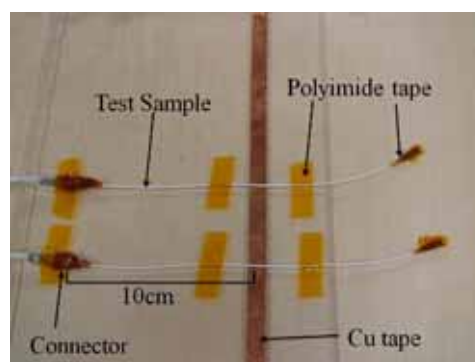


図 2 セッティング 1

試験サンプルは Raychem 社の Spec55 とビニル絶縁電線を使用する。Spec55 の型番は 55A011X、サイズは AWG22 である。このケーブルは ADEOS II の電力ケーブルにも使用されており、航空宇宙分野に実績があり広く使用されている。被覆は架橋 ETFE を使用しており被覆の厚さは 0.15mm である。一般的な架橋 ETFE の絶縁耐圧は 0.25mm 厚

さで AC27kV 程度で Spec55 の AWG22 の被覆厚さで計算すると AC16kV となる。ビニル絶縁電線は定格 300V で 300VUL1007 耐熱機器内配線用ビニル絶縁電線である。

電源は TAKASAGO 製の GLASSMAN を使用し、ケーブルに電圧を印加した。外部コンデンサ C_{ext} の容量は 1nF で実験を行った。高電圧プローブでケーブル芯線-GND 間の電圧を測定した。電流プローブ CP1 の立ち上がりトリガとして設定し、オシロスコープにより放電時の電流を測定した。CP2 では放電時に C_{ext} から流れる電流を測定した。

実験結果

セッティング 1 では高電圧が印加されるコネクタと接地した銅テープ間で沿面放電が発生した。沿面放電発生時に取得された波形と放電画像を示す。

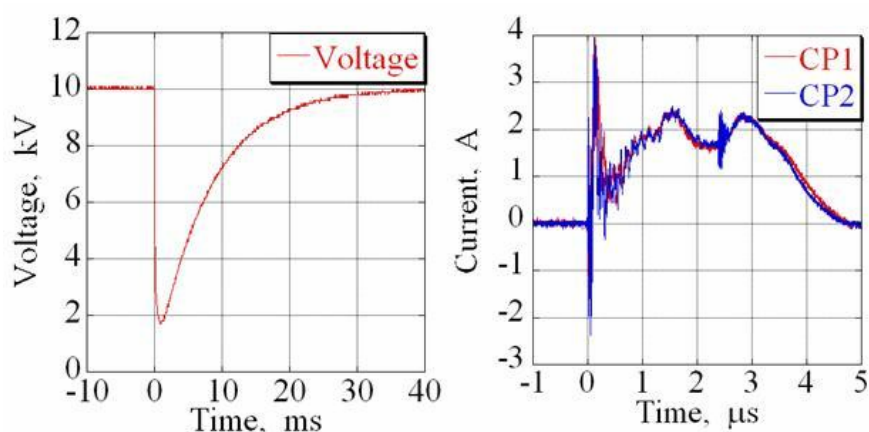


図3 沿面放電時の放電波形($V_{bias}=10kV$ 、 $C_{ext}=5nF$)

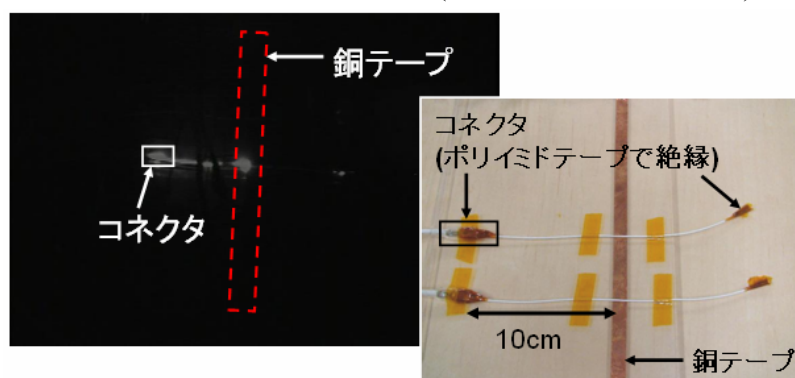


図4 沿面放電時の放電画像

ケーブルに高電圧が印加されることで発生した電界により、銅テープから電子が発生し微小放電が発生する。バイアスされたコネクタ部分と銅テープ間の距離が短いと微小放電時に発生した電子がケーブル表面を伝い、コネクタ部分に到達し沿面放電が発生する。コネクタ部分はポリイミドテープで絶縁していたが、コネクタ-銅テープ間の距離が 10cm の場合には絶縁が十分ではなく、沿面放電が発生した。そのため、バイアス電圧

が印加されるコネクタ部分は、接地した銅テープから距離をとる必要がある。

セッティング 2 では Spec55 とビニル絶縁電線を用い実験を行った。セッティング 2 ではケーブルの長さを 140cm とし、両端から等距離の位置を銅テープ上に設置した。電圧の印加時間は各 15 分で行った。電圧を印加するとケーブルー銅テープ間で放電が発生した。放電時に取得された波形と放電画像を示す。

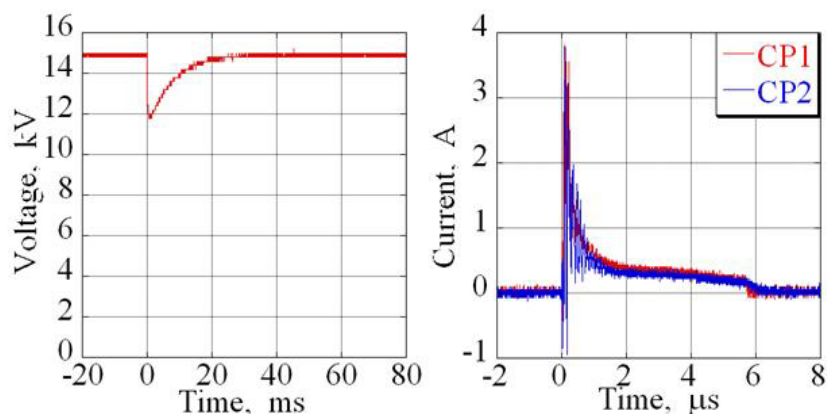


図 5 放電時の波形(Spec55、Vbias=15kV、Cext=1nF)

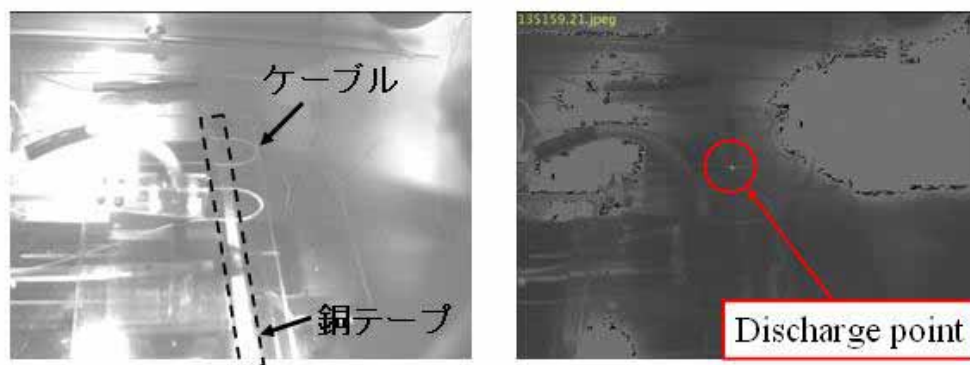


図 6 放電画像

ケーブルに高電圧を印加すると、電界により銅テープから電子が放出され、ケーブル芯線と銅テープ間で放電が発生する。放電が発生すると、放電によりグラウンドに流れた電荷量だけ外部コンデンサ Cext から電荷が供給される。ビニル絶縁電線においてもケーブルー銅テープ間で放電が発生し、放電時の波形は Spec55 と同じような波形が取得された。発生した放電回数を表 1 に示す。

表 1 放電発生回数

| Vbias [kV] | Spec55 | | | ビニル 絶縁電線 | | |
|---------------|--------|------|------|-------------|------|------|
| | No.1 | No.2 | No.3 | No.1 | No.2 | No.3 |
| 10kV | 1 | 0 | 0 | 10 | 5 | 6 |
| 12kV | 1 | 0 | 0 | 12 | 2 | 12 |
| 15kV | 1 | 1 | 1 | 15 | 10 | 18 |

Spec55 での放電回数が 15 分間で 1 回もしくは 0 回であったのに対し、ビニル絶縁電線では 10 回もしくは 10 回以上発生した。ケーブル上で放電すると表面に電子が帯電するが、Spec55 の場合、被覆の抵抗値が大きいため表面に電子が帯電し続けると思われる。ビニル絶縁電線の場合、Spec55 に比べ被覆の抵抗値が小さいため表面に帯電した電子が被覆中を通り、表面の帯電が緩和されていると考えられる(図 7)。

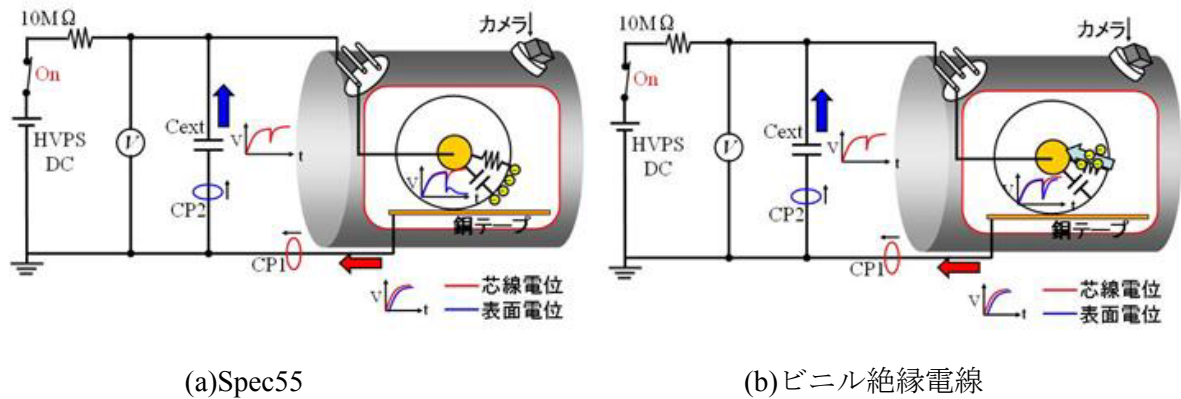


図 7 表面帯電

セッティング 2 の試験回路でケーブルに電子ビームを照射し実験を行った。試験回路を図 8 に示す。高電圧印加時と印加していない場合でケーブルの絶縁性に影響を与えるかを調べるため、高圧電源を接続する場合としない場合の 2 種類の回路で試験を行った。ビームエネルギーは 1~15keV、電流密度は $50 \mu A/m^2$ で実験を行った。ビーム照射時間は各エネルギー 15 分間照射した。

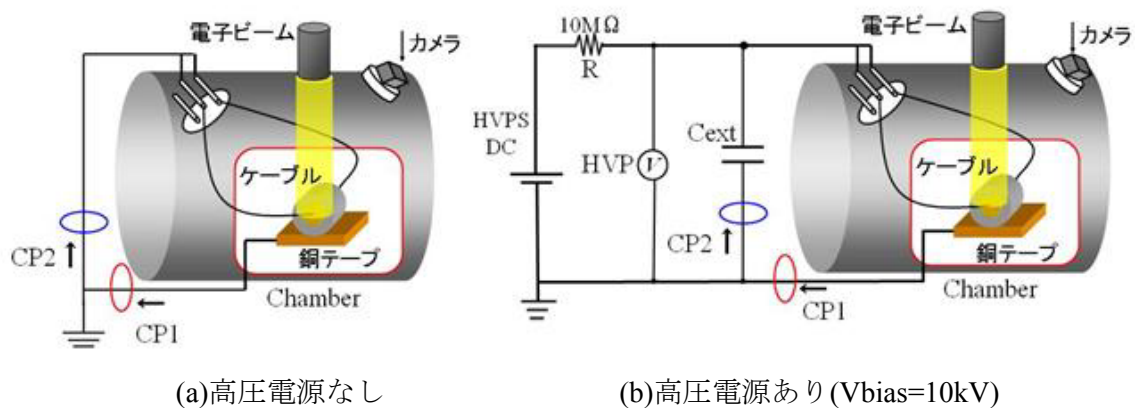


図 8 試験回路(ビーム照射)

実験の結果、(a)、(b)どちらの回路でもビーム照射による放電は発生しなかった。

総括

ケーブルに高電圧を印加するとケーブルと導体間で放電が発生する。放電発生時に、高電圧印加部分の近くに導体があると、放電時の電子が高電圧印加部分に到達し沿面放電が発生する。沿面放電が発生すると発電した電力が失われるため、高電圧印加部分の近くには導体を設置せず、十分な絶縁処理を施す必要がある。ケーブル上で放電が発生すると表面に電子が帯電する。

今後の課題

Spec55 では放電回数が 1 回もしくは 0 回であったが、何度も放電が発生した場合、被覆の絶縁性がどうなるか調べるため、繰り返し放電を発生させて実験を行う必要がある。また、熱劣化サンプル、紫外線劣化サンプルを試験し、熱劣化や紫外線劣化により絶縁性能がどのように変化するか調べていく必要がある。