

利用課題名: 宇宙部品の耐放射線評価

英文利用課題名: Radiation Test of Electrical parts for satellites

長野 寛¹⁾ 長谷川武敏²⁾ 大須賀 弘行²⁾ 照喜名 勲²⁾

Hiroshi NAGANO Taketoshi HASEGAWA Hiroyuki OSUGA Isao TELUKINA

¹⁾独立行政法人宇宙航空研究開発機構 ²⁾三菱電機株式会社

電気推進機を搭載する次世代の人工衛星に向けて、衛星の小型軽量化を達成するために必須となる耐放射線にすぐれた架橋 ETFE 電線、高電圧トランス、高放熱低熱膨張基板の開発を行っている。本研究においては、これらの宇宙開発部品にコバルト 60 によるガンマ線の照射を行い、各部品が、1xE5Gy 耐性を有することを検証した。

キーワード: Radiation test, Wire, Electrical parts, Transformer, Printed circuit board

1. 目的

本研究は、我が国の将来の人工衛星に必要とする、耐放射線環境にすぐれた、宇宙部品を開発することが目的である。対象部品は、人工衛星の小型化軽量化のために必要となる、架橋 ETFE 電線、高電圧トランス、高放熱低熱膨張基板の 3 品種とし、これらは、すべて世界に先駆けて実施する海外でも実績のない日本独自の開発品である。各試料の特徴を以下に示す。

- ・高電圧電線は、従来は米国製の SPEC55 電線を使うことが多かったが、耐放射線と耐熱性で難があった。開発の狙いとして、広い温度範囲と耐放射線と高耐圧、ハンドリング製の良さを特徴とするものである。
- ・高電圧トランスは、電気推進システムの電源には必須なトランスであり、高耐圧絶縁と高熱伝導性は相反する特性を有するが、本品は従来比、50%の容積を狙った高熱伝導特性を有する高電圧トランスである。また、構造上も1000Gの衝撃に耐えることを前提に設計されたもので、世界的にもあまり例を見ない堅固な機械特性を有する。
- ・CFRP コア基板は、CFRP をコア材として低熱膨張と高放熱特性を合わせ持ち、世界的にも類を見ない、すぐれた性能を有する基板である。過去 4 層配線基板において、類似の CFRP コア基板の耐放射線試験評価を実施し、問題のないことを確認している。今回は、この特性を有する CFRP コア基板を 6 層構造に構成をグレードアップした新規基板である。

2. 方法

試験評価試料にコバルト60によるγ線の照射試験を行ない、照射前後において、それら試料の性能特性を比較する。評価試料は、架橋 ETFE 電線、トランス、基板の 3 品種とし、試験照射線量は、

1xE2Gy, 1xE3Gy, 1xE4Gy, 1xE5Gy, 1xE6Gy (電線のみ)とする。

試験照射設備は、独立行政法人日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所 1号加速器を使用した。

3. 研究成果

評価に供した各試料は、すべて 1xE5Gy以上の耐性を有していることを実験により検証できた。

これにより、国産化技術により、人工衛星に搭載可能な耐圧 2000V の高電圧電線と高電圧トランス及び高放熱基板の開発の目処が得られた。

4. 結論・考察

・架橋 ETFE 電線

耐放射線性に優れた ETFE 電線の耐熱性を改善した 2000V クラス架橋 ETFE 電線 (AWG#16) の各種評価試験を行い、以下の主な結果を得た。

(1) 開発した架橋 ETFE 電線の特性評価試験では全ての項目について規格値を満足し、2000V クラス高電圧電線と

して使用できることを確認した。

(2) 架橋 ETFE 電線の放射線照射後の特性試験において、被覆の機械的特性(引張強度・伸び)は、 $1 \times 10^5 \text{Gy}$ では大きな変化は示さなかったが、照射量 $1 \times 10^6 \text{Gy}$ では、強度は初期値の半減、伸びは初期値の2%程度に低下した。これは、架橋 ETFE の主鎖が破断される劣化現象が生じており、架橋 ETFE 電線の寿命と判断される。図1に引張り強度の変化を示し、図2に伸びの変化を示す。

強度は照射線量の増加とともに若干高くなるのは、ETFE の架橋がさらに進むためと考えられる。さらに照射量が増えると、主鎖の切断(分解現象)が生じ、強度は急激に低下する。今回試験した結果から、 $1 \times 10^6 \text{Gy}$ では分解現象が激しく、架橋 ETFE 電線の機械的特性から見た耐放射線性の寿命は $3 \times 10^5 \text{Gy} \sim 5 \times 10^5 \text{Gy}$ である。

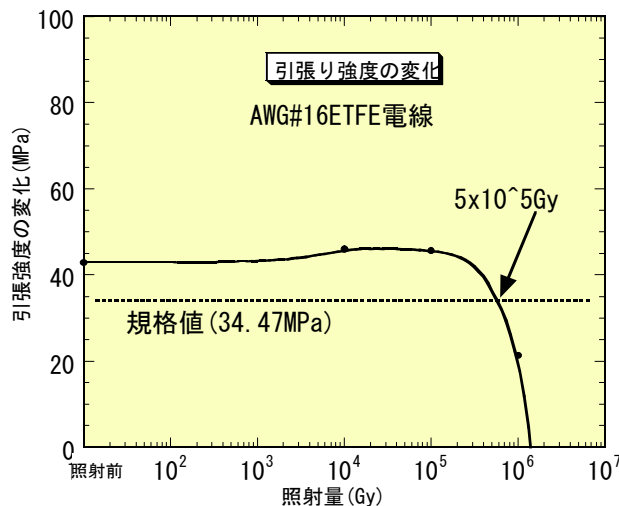


図1 引張り強度の変化

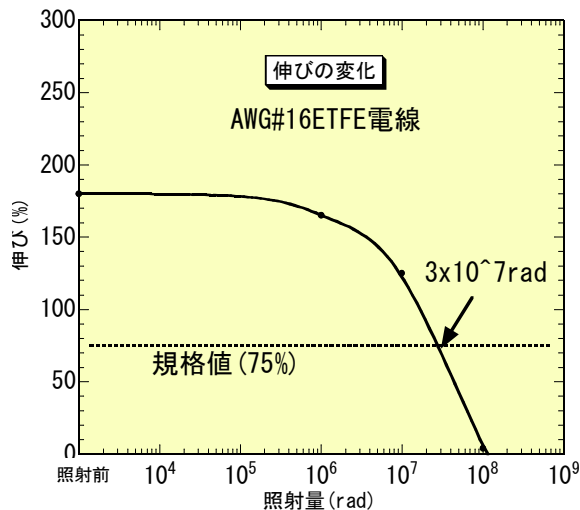


図2 伸びの変化

(3) 放射線照射後のライフサイクル試験は、照射量 $1 \times 10^6 \text{Gy}$ まで $3000\text{V} \cdot 5$ 分の耐電圧には耐えたが、 $1 \times 10^6 \text{Gy}$ 照射したサンプルのライフサイクル試験後の絶縁被覆表面には僅かなクラックが認められた。

(4) その他の特性試験では照射量 $1 \times 10^6 \text{Gy}$ おいても規格値を満足していた。

以上の結果から、架橋 ETFE 電線 (AWG#16) の耐放射線性は、 $1 \times 10^5 \text{Gy}$ までは全ての特性において大きな変化は無く規格値を満足することが確かめられた。連続使用温度 $-100^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ 、放射線量 $1 \times 10^5 \text{Gy}$ の環境において十分機能する高圧電線として使用できることが確かめられた。

・高電圧トランス

開発した高電圧トランスについて、衝撃(熱衝撃含む)と放射線環境を模擬した試験条件で信頼性試験を実施し、以下の結果を得た。

(1) 15年の設計寿命の間に受ける放射線量(約 $3 \times 10^4 \text{Gy}$)の耐放射線性を検証するために、 $1 \times 10^4 \text{Gy}$ から $1 \times 10^5 \text{Gy}$ の放射線量を照射した後に、外観変化、耐電圧、電気特性とも初期値と殆ど変化は無く、要求特性を十分満足する結果であった。

(2) $1 \times 10^5 \text{Gy}$ の放射線照射後、熱衝撃・衝撃試験を実施したが、フェライトコアのクラック発生も無く(インダクタンス評価)、また、他の電気特性、外観変化も全て要求特性を満足する結果が得られた。

(3) 低高度衛星の設計寿命 15年を想定した環境条件で、今回開発した高電圧トランスの長期信頼性は十分検証できたと考える。

・高放熱基板

高放熱基板に放射線の照射を行い、照射前後で、その基板の特性評価を実施し、以下の結果を得た。

6層 CFRP コア基板の初期性能の確認並びに放射線照射後ヒートサイクル 1000 サイクルを実施し、基板の抵抗値特性評価と断面観察を実施した。

その結果、6層 CFRP コア基板は、放射線 ($1 \times 10^5 \text{Gy}$) 照射後のヒートサイクルにおいても特別な変化はなく、十分に基板としての耐性があることが検証できた。図3に評価した基板の断面図を示す。

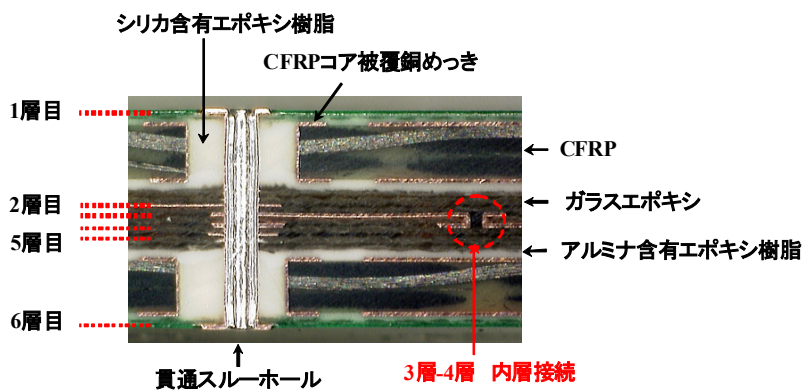


図3 評価基板の断面図

5. 引用(参照)文献等

文献:大須賀他、「宇宙用高電圧電線の開発」第52回宇宙科学連合講演会 3G10,2008

以上