

衛星用絶縁材料の真空中における 表面抵抗率・体積抵抗率測定

小宮山 丈行(埼玉大学), 仁田 工美(JAXA), 山納 康(埼玉大学), 小林 信一(埼玉大学)

Measurement of surface and volume resistivity of insulator materials for satellites in vacuum condition

Takeyuki Komiyama (Saitama University), Kumi Nitta (JAXA),
Yasushi Yamano (Saitama University), Shinichi Kobayashi (Saitama University)

This paper investigates surface and volume resistivity of insulator materials used for the artificial satellites. Measurements were carried out under vacuum and atmospheric conditions respectively. The measured materials are two kinds of white paints which are used for the antenna portion of satellites, two kinds of glasses which are used for the cover glass of solar panel and a polyimide film which are used for the thermal control material on the satellite. It was confirmed that the surface resistivity for almost all of the insulator materials except for polyimide film under vacuum condition was higher than that under atmospheric condition. Desorption of moisture vapor from the insulator surface is the main cause of the increase of the surface resistivity in vacuum. On the other hand, their volume resistivity except for the white paints had no difference between vacuum and atmospheric conditions. White paints under vacuum condition showed the higher volume resistivity than that of atmospheric condition.

キーワード：真空, 表面抵抗率, 体積抵抗率

Keywords : Vacuum, Surface resistivity, Volume resistivity

1. はじめに

人工衛星のアンテナ部分に使われる熱制御材料や太陽電池パネルのカバーガラスなど宇宙機の設計に必要な絶縁材料の選定には、機械的特性、熱光学特性、そして電気的特性などの物性値が必要である。

一般的に絶縁材料の表面抵抗率は、その周囲環境によって大きく変動し、特に真空環境下では大気中の値と比べて大きく異なり、材料によりその変動幅も異なることが予想される。

本研究では、アンテナ部に使用される白色塗料および太陽電池パネルのカバーガラスやポリイミドフィルムなどの絶縁材料の表面抵抗率・体積抵抗率を大気中、真空中でそれぞれ測定し、その変化を調査した。

2. 測定試料

測定に使用した試料は、2種類の白色塗料、2種類の石英ガラス、およびポリイミドフィルムで、また、比較として真空中の代表的な絶縁材料であるアルミナセラミックスも用意した。白色塗料の特性を表1に、石英ガラス、ポリイミドフィルム、アルミナセラミックスの特性を表2に示す。白色塗料は非導電性で製造メーカーの異なる無機系とシリコン系の2種類のもので、石英ガラスもそれぞれ製造メーカーが異なるものである。

表1 白色塗料の特徴

名称	導電性	特性	膜厚[μm]
White paint A	非導電性	無機系白色塗料	144
White paint B	非導電性	Si系白色塗料	179

表2 各絶縁体の特徴

名称	特性	厚さ[μm]
Glass A	石英ガラス	111
Glass B		106
Polyimide Film	—	32
Alumina Ceramics HA-95	純度：95%	5000

3. 実験方法・装置

表面抵抗・体積抵抗測定試験は大気圧から 10^{-2}Pa 程度の真空環境下で測定可能な抵抗率測定容器を用いて実験を行った。

本実験では各試料に対して、抵抗率測定用に銀ペーストを用いて電極を作製した⁽¹⁾。抵抗率測定用の電極の概略図を図1に、各電極の寸法を表3に示す。

測定回路とそれぞれの抵抗率の算出方法は、参考文献(1)を用い、各試料について大気中と真空中で抵抗率の測定を行った。

4. 結果および考察

表4に各試料の真空中、大気中の表面抵抗率を示す。ほとんどの試料の表面抵抗率は、上昇幅はさまざまであるが大気中に比べて真空中において大きく増加した。これは真空中では試料表面に吸着している水分が脱離したためと考えられる。ポリイミドフィルムは大気中、真空中で表面抵抗率はほぼ変わらない結果となった。

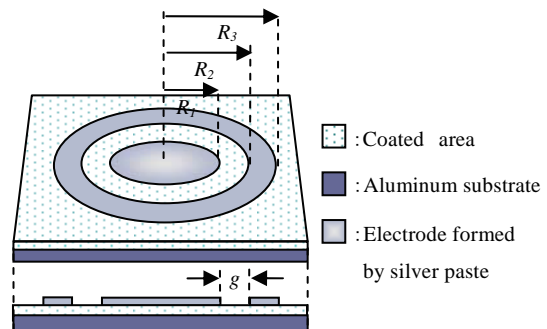


図1 電極作製後の白色塗料の概略図

表3 電極作成後の試料の寸法(単位:[mm])

R_1	R_2	R_3	電極間距離 g
5.0	7.0	10.0	2.0

表 4 各試料の表面抵抗率(単位 : [Ω])
(100V 値, ただしアルミナ HA-95 のみ 1000V 値)

測定試料	大気中	真空中
Alumina Ceramics HA-95	2×10^{14}	1×10^{17}
White paint A	4×10^9	9×10^{11}
White paint B	5×10^{13}	5×10^{15}
Glass A	5×10^{15}	2×10^{16}
Glass B	2×10^{16}	$>2 \times 10^{17}$
Polyimide film	2×10^{16}	1×10^{16}

表 5 各試料の体積抵抗率(単位 : [Ωm])

(100V 値, ただしアルミナ HA-95 のみ 1000V 値)

測定試料	大気中	真空中
Alumina Ceramics HA-95	1×10^{14}	2×10^{14}
White paint A	5×10^6	2×10^{10}
White paint B	2×10^{10}	3×10^{11}
Glass A	2×10^{13}	3×10^{13}
Glass B	1×10^{13}	1×10^{13}
Polyimide film	9×10^{14}	6×10^{14}

表 5 に各試料の真空中, 大気中の体積抵抗率を示す。体積抵抗率は真空中と大気中で白色塗料を除くすべての試料においてほとんど変わらない値となったが, 白色塗料だけは大気中に比べ真空中では大きく増加した。

真空中での表面抵抗率が, 真空容器内の圧力でどのように変化していくのかを調べるため, 次のような実験を行った。試験容器内を大気圧にし, 真空ポンプで 10^{-2} Pa 程度の真空まで排気した後, He ガスを容器内に導入して圧力を大気圧まで戻し, その後容器内を大気曝露した。その間にいくつかのポイントで表面抵抗率測定を行った。このとき試料にはアルミナ HA-95 を用いた。

図 4 に示されるように, 大気圧から 1.0×10^4 Pa に容器内圧力を低下させていくと, 容器内圧力の低下とともに表面抵抗率が増加した。一方, 容器内圧力を 1.0×10^4 Pa からさらに下げても, 表面抵抗率は増加することなく, ほぼ一定の値を示した。その後, 排気した状態から大気圧になるまで He ガスを導入すると, 同図に示すように表面抵抗率は減少せず, 真空環境の表面抵抗率と同様の値を示した。さらにその後容器内に大気を導入すると表面抵抗率は低下した。このことから, 大気中の表面抵抗率の値には周囲環境の水蒸気とその吸着量が大きく関わっている可能性があることがわかる。

一方, 表 5 に示すように体積抵抗率は, 白色塗料以外は大気中と真空中でほとんど変化が見られなかった。これは, 体積抵抗率が絶縁体内部に流れる電流から求められ, これらは材料固有の値であり, 周囲環境の影響を受けないためである。しかし, 白色塗料だけは, 体積抵抗率の値が真空中と大気中とで大きく異なった。これについて, より詳細に調べるため, 体積抵抗率の容器内圧力依存性を調べた。図 5 に白色塗料 A の場合の容器内圧力と体積抵抗率の関係を示す。最初の大気圧条件下では図の一番右下の点で, 体積抵抗率は $1 \times 10^7 \Omega m$ であった。

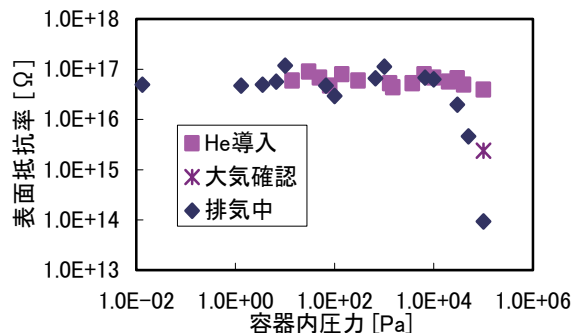


図 4 容器内圧力と表面抵抗率の関係 (HA-95)

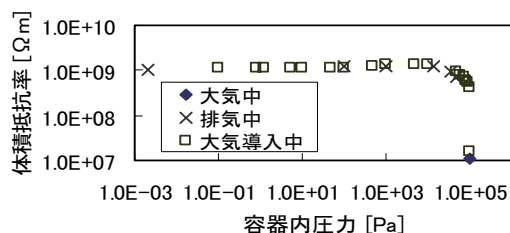


図 5 容器内圧力と表面抵抗率の関係 (White paint A)

容器内圧力を 1.3×10^4 Pa まで低下させると体積抵抗率が $1 \times 10^9 \Omega m$ に増加し, その後さらに容器内圧力を低下させても, 体積抵抗率に変化は無かった。真空環境下では大気圧時に比べ体積抵抗率が 2 桁ほど急増した。その後, 大気を導入して容器内圧力を増加させると, 1×10^4 Pa 以上から体積抵抗率に減少が見られ, さらに大気圧まで戻したところ, 体積抵抗率は $2 \times 10^7 \Omega m$ となった。このことから白色塗料 A は大気圧に近い圧力で体積抵抗率に変化が起ることが確認された。白色塗料 A は真空中になると塗料内の水分が抜けたことや, 塗料の状態になんらかの変化が起きたことが予想され, 試料周囲の環境の影響を受けやすいことが考えられる。

5. まとめ

真空中の表面抵抗率は, 材料によってその上昇率はさまざまであるが大気中の値よりも増加することが明らかになった。本実験においてはポリイミドフィルムでは, 表面抵抗率が真空中と大気中とで変化が見られなかった。一方, 体積抵抗率は, 白色塗料を除くすべての材料で真空中と大気中とで同じ値を示した。白色塗料はその値が真空中で増加することが明らかになった。

謝 辞

本研究を進めるにあたりまして, 独立行政法人情報通信研究機構から白色塗料の提供を受けましたことを, 深く感謝いたします。

文 献

- (1) 日本規格協会編: 「JIS ハンドブックセラミックス」, Vol.35, pp.140-207 (2002)