

軌道上における錫ウィスカ成長特性及び抑制対策の評価

Sn whisker growth characteristic and validation to suppress Sn whiskers in orbit

市丸 慎一郎*, 中川剛†, 根本規生‡, 中村裕広§, 菅沼克昭**, 西川宏††

Shinichiro ICHIMARU, Tsuyoshi NAKAGAWA, Norio NEMOTO, Yasuhiro NAKAMURA, Katsuaki SUGANUMA, Hiroshi NISHIKAWA

概要

人工衛星の搭載機器に鉛フリー部品を使用した場合の錫ウィスカ成長や錫ウィスカ抑制効果を宇宙空間で確認することを目的に、国際宇宙ステーション曝露部において錫ウィスカの成長特性とコンフォーマルコーティングによる錫ウィスカ抑制対策の評価を実施した。その結果、これまでの地上における真空中評価と同様に、軌道上においても錫ウィスカは細く長くまっすぐ成長することが確認でき、地上大気環境と異なる成長特性を示した。また軌道上においても錫ウィスカの成長が飽和することが確認できた。これら錫ウィスカを抑制するため、パラキシレンコーティング、ウレタンコーティングを用いたところ、これらを塗布することで錫ウィスカの発生を抑制することが確認できた。本文ではこれらの詳細な分析結果を報告する。

本文

1. はじめに

近年, JAXA 内外の様々なミッション要求により,

人工衛星への民生用部品の利用が求められており, このような状況下において, 長期間軌道上で運用する人工衛星の搭載機器に鉛フリー部品の利用が望まれている。

鉛フリー部品の利用において大きな課題は錫ウィスカの発生であり, 錫ウィスカは導電性のため電子回路の短絡不具合に繋がる恐れがある。

人工衛星への鉛フリー部品の利用を目的に, 軌道上における錫ウィスカの成長特性を把握し, 錫ウィスカ抑制対策の有効性を評価するべく, 国際宇宙ステーション (ISS) 「きぼう」日本実験棟の簡易曝露実験装置 (ExHAM) (図 1) を利用した軌道上実環境における曝露実験を実施した。またこれの比較のために地上対照試験も実施した。

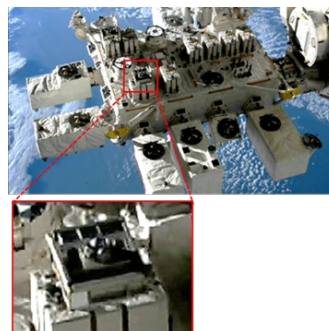


図 1 ISS 「きぼう」日本実験棟の ExHAM

* 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 安全・信頼性推進部 ミッション保証技術グループ
大阪大学大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 生産科学コース
〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1 e-mail: ichimaru.shinichiroh@jaxa.jp

† 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 安全・信頼性推進部 安全・信頼性推進グループ
〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1 e-mail: nakagawa.tsuyoshi@jaxa.jp

‡ 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 第一研究ユニット
〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1 e-mail: nemoto.norio@jaxa.jp

§ 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 安全・信頼性推進部 ミッション保証技術グループ
〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1 e-mail: nakamura.yasuhiro@jaxa.jp

** 大阪大学 産業科学研究所内 F3D 実装協働研究所
〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1 e-mail: suganuma@sanken.osaka-u.ac.jp

†† 大阪大学接合科学研究所
〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 11-1 e-mail: nisikawa@jwri.osaka-u.ac.jp

本報文は審査を受けていない技術報告であり, 将来, 著者により拡張・修正等されたものが, 学術雑誌等に掲載される可能性があります。
This article is a technical report without peer review, and its polished or extended version may be published elsewhere.

2. 実験試料及び実験計画

実験試料はチップコンデンサ，抵抗，SOPIC を実装した PWB（図 2 左側）及び試験片（図 2 右側）の構成とした．また錫ウィスカの抑制対策を評価するため，未コートに加え，パラキシリレンコーティング（図 2 上部）及びウレタンコーティング（図 2 下部）をコートしたものも用意した．これらを一式とし，軌道上曝露実験用として 4 式，地上対照試験用として 3 式，同じコンフィグレーションの実験試料を製作した．

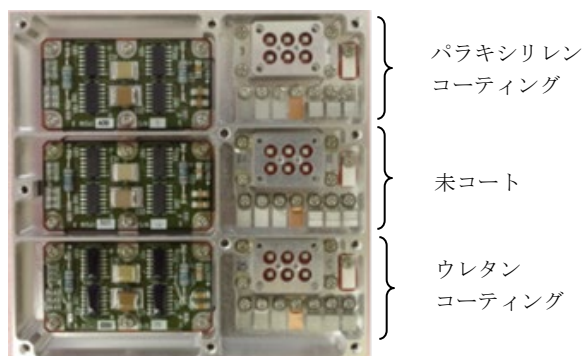


図 2 実験試料一式

実験計画を図 3 に示す．ISS に 4 つの実験試料を打上げ，これらを ExHAM に搭載し軌道上曝露実験を実施した．4 つの実験試料において，それぞれ 1 年間，2 年間，3 年間，4 年間，軌道上環境に曝露した．所定期間の軌道上曝露後，ExHAM より試料を回収し地球に帰還後，試料の分析・評価を行った．

地上対照試験は 3 つの実験試料において，1 年間，2 年間，3 年間，大気環境下にて，軌道上と同じ熱環境を模擬した恒温恒湿槽により熱サイクルを印加した．なお，ISS は 90 分で地球を一周するため，1 サイクルを 90 分として熱サイクル試験を実施した．熱サイクル条件は軌道上における太陽ベータ角（ISS 軌道面と太陽方向とのなす角）の季節変動等を考慮し， $\pm 15^\circ$ 区切りで熱サイクル条件を変えた（表 1）．

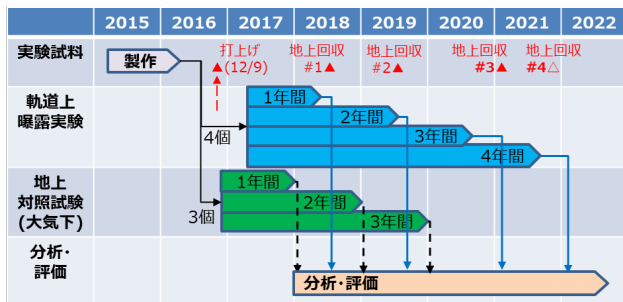


図 3 実験計画

表 1 実験試料一式

太陽β角	β00	β15	β30	β45	β60	β75
	0°	+/-15°	+/-30°	+/-45°	+/-60°	+/-75°
高温	+89℃	+81℃	+65℃	+30℃	+4℃	-19℃
低温	-9℃	-5℃	-14℃	-25℃	-29℃	-32℃
温度差	98℃	86℃	79℃	55℃	33℃	13℃
日数	41	87	103	72	44	18
サイクル数	656	1392	1648	1152	704	288

3. 軌道上における錫ウィスカ成長特性の評価

軌道上曝露実験 3 年目の試験片曲げ板（基板：42alloy）における表面 SEM 観察結果を図 4 に示す．図 4 より，軌道上においては，細く長くまっすぐな錫ウィスカが成長していることが分かる．また錫ウィスカ表面を詳細に観察したところ，横に筋が入っているのが確認できる．これは熱サイクル試験により発生する錫ウィスカの特徴であり，筋と筋の間隔が熱サイクルにおける 1 サイクルを示す．[1]

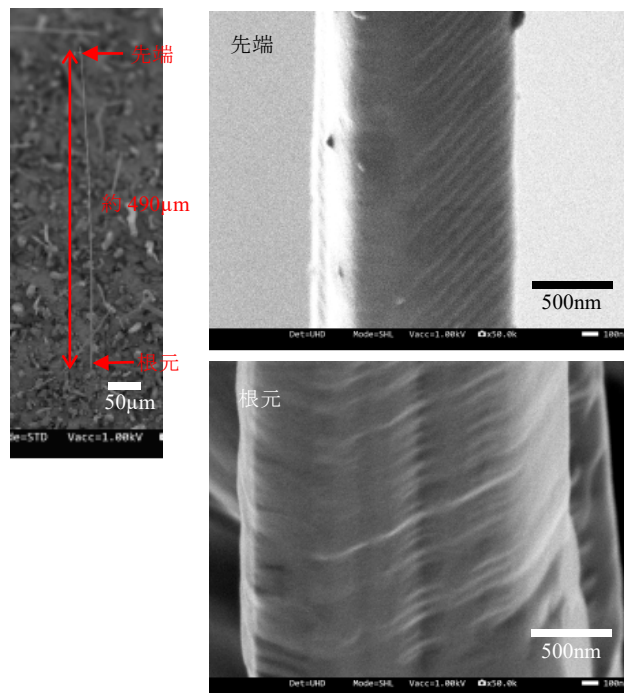


図 4 軌道上曝露実験 3 年目の試験片曲げ板（基板：42alloy）における表面 SEM 観察結果

地上対照試験において観察された錫ウィスカは，太く短く曲がった形状をしていた．地上対照試験 3 年目の試験片曲げ板（基板：42alloy）における表面 SEM 観察結果を図 5 に示す．図 5 は観察のため，地上対照試験において観察された錫ウィスカの内，比較的まっすぐに伸びたものである．図 5 に示す通り，軌道上曝露実験の錫ウィスカと同様，錫ウィスカ表

面に横に筋が入っているのが確認できる．これらの結果より，軌道上における錫ウイスカの発生要因として熱サイクルが支配的であることが予想できる．

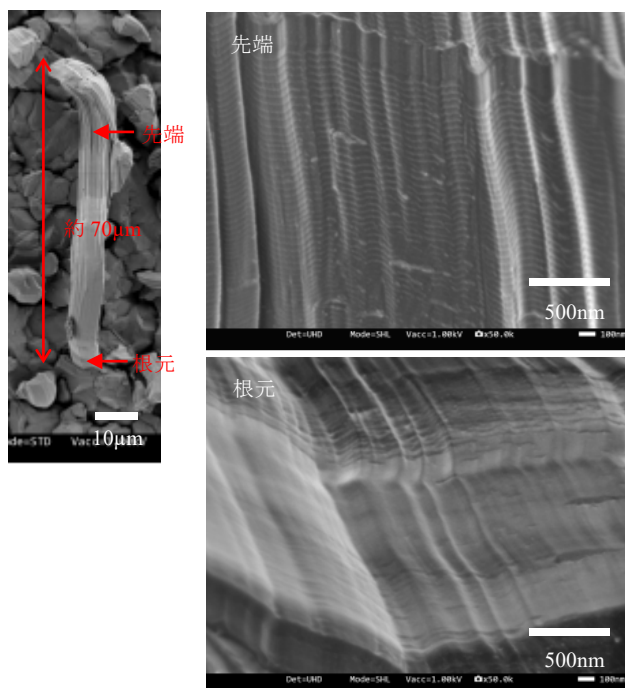


図 5 地上対照試験 3 年目の試験片曲げ板（基板：42alloy）における表面 SEM 観察結果

軌道上曝露実験の錫ウイスカの先端及び根元における筋と筋の間隔を確認したところ，どちらも先端の方が間隔幅が広がった．これより，軌道上における錫ウイスカは初期にウイスカ成長し，次第に成長が止まっていくことが分かる．なお，これは地上対照試験においても同様の結果が得られた

次に 4 年間における錫ウイスカ長さの変化を確認した．図 6 に試験片曲げ板（基板：42alloy）において観察された最大長 10 本の錫ウイスカの平均長さを示す．図 6 に示す通り，軌道上曝露実験においては 2 年目まで錫ウイスカが著しく成長しているが，2 年目以降，成長は鈍化していることが分かる．3 年目においては最大約 760 μm の錫ウイスカが観察されたが，4 年目においては 3 年目よりも最大長，平均長ともに短く錫ウイスカ成長が飽和していることが分かる．また地上対照試験の結果も示す通り，錫ウイスカ平均長さは約 50 μm であり，軌道上の方が著しく地上大気環境下よりも成長することが分かる．昨今の部品の極微細化が進む中，錫ウイスカの発生は電子回路の短絡不具合に繋がり，軌道上の方がより長く錫ウイスカが成長するため，人工衛星に鉛フリー

部品を使用する場合，既に地上の電子部品に使用されている鉛フリー部品よりも，より十分な錫ウイスカ対策を施す必要がある．

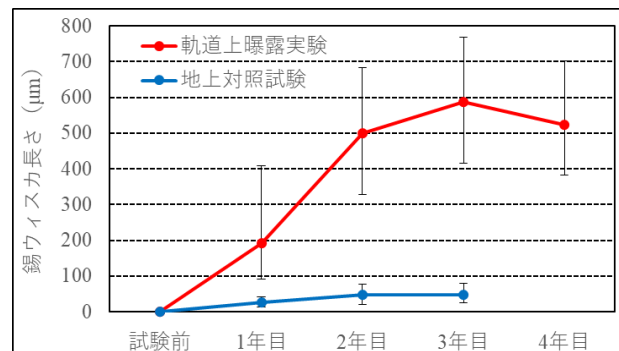


図 6 試験片曲げ板（基板：42alloy）における最大長 10 本の錫ウイスカの平均長さ

4. 軌道上におけるコンフォーマルコーティングによる錫ウイスカ抑制対策の評価

図 7 にパラキシリレンコーティングした軌道上曝露実験及び地上対照試験 3 年目の試験片曲げ板（基板：42alloy）の断面 SEM を示す．図 7 に示すように，パラキシリレンコーティング膜下の錫めっき表面から錫ウイスカが発生していないことが分かる．これは錫ウイスカを物理的にコーティングで抑え込んでいるのではなく，錫ウイスカの発生自体を抑制している．これより，パラキシリレンコーティングにおける優れた錫ウイスカ抑制効果を確認することができる．



図 7 軌道上曝露実験及び地上対照試験 3 年目，パラキシリレンコーティングした試験片曲げ板（基板：42alloy）における断面 SEM 観察結果

図7の軌道上曝露実験と地上対照試験の錫めっきの断面を比べると分かる通り、地上対照試験では錫めっきにクラックが発生していることが分かる。これは錫めっきが熱サイクル時に酸化されることにより生じるものである。この結果より、パラキシリレンコーティングが地上大気環境下において酸素を透過しており、またパラキシリレンコーティング膜下における錫めっきが曝されている環境は軌道上環境と地上大気環境では異なることが分かる。

パラキシリレンコーティングは優れた錫ウイスカ抑制効果を示しているが、詳細に断面 SEM 観察をしたところ、パラキシリレンコーティングと錫めっきの界面付近にクラックが発生していた。図8に軌道上曝露実験及び地上対照試験3年目、パラキシリレンコーティングした試験片曲げ板（基板：42alloy）における断面 SEM 観察結果（拡大）を示す。図8に示す通り、パラキシリレンコーティングにクラックが発生しており、これは他の試験片においても確認され、また年々クラックが進展していることも確認されている。ただし、クラックは横方向に発生しており、またクラック発生箇所から錫ウイスカの発生はこれまでに確認されていない為、パラキシリレンコーティングによる錫ウイスカ抑制効果は維持していると考えられる。今後、人工衛星の長期利用化に伴い、パラキシリレンコーティングも長期的に錫ウイスカ抑制効果を維持する必要があるため、これらのクラックについても適切に対応していく必要がある。

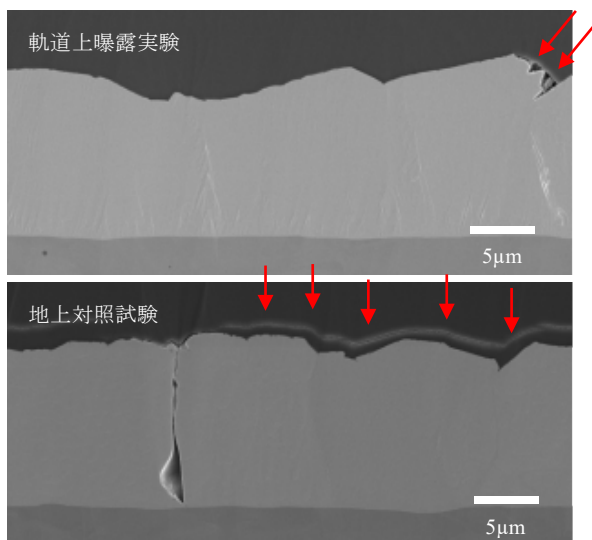


図8 軌道上曝露実験及び地上対照試験3年目、パラキシリレンコーティングした試験片曲げ板（基板：42alloy）における断面 SEM 観察結果（拡大）

5. おわりに

軌道上曝露実験により軌道上における錫ウイスカの成長特性及びその抑制対策の評価を実施した。本実験得られた結果は以下の通りである。

- ・軌道上において、錫ウイスカは細く長く直線的に成長しており、地上対照試験と異なる成長特性を示した。また軌道上において錫ウイスカの成長飽和が確認された。

- ・パラキシリレンコーティングは優れた錫ウイスカ抑制効果を示した。錫ウイスカの発生自体を抑制していることが確認できた。

- ・パラキシリレンコーティングにおいてコーティングと錫めっきの界面にクラックが確認されている。クラック部分より錫ウイスカは確認されていないが、クラックが年々進展していることから長期利用に当たっては適切な評価が必要である。

最後に、本軌道上実証を進めるに当たり、計画段階から様々な面でご支援、ご協力を頂きました大阪大学の菅沼先生を始め、宇宙機メーカー、実装メーカー、部品メーカー、めっきメーカー、分析メーカーの皆さまにこの場を借りて厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- [1] K. Suganuma, A. Baated, K.-S. Kim, K. Hamasaki, N. Nemoto, T. Nakagawa, and T. Yamada, Acta Mater., Vol.59, No19(2011) 7255-7267

(いちまる しんいちろう／国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構)