

環境観測技術衛星(ADEOS-II)「みどり II」の運用異常の原因究明に係る試験の実施状況について(その2)

平成 16 年 1 月 9 日
独立行政法人
宇宙航空研究開発機構

1. はじめに

推定している発生シナリオのひとつである仮説 2 - 1 及び 2 - 2 について、実施している次の試験について中間結果を報告する。

帯電 / 放電に係る試験
ブーム / ハーネス熱サイクル試験
電線クリープ試験

} (平成 15 年第 6 回調査部会で
計画を報告)

仮説 2 - 1 [2 - 2]

発生箇所: 太陽電池パドルハーネス

発生シナリオ:

放電が発生しやすい環境となる(環境プラズマ、ハーネス被覆や MLI からの脱ガス、それらの複合要因による)。(*1)

何らかの理由に起因する放電によりハーネスが開放[短絡]する。(*2)

要確認・検討事項:

(*1)ハーネス、MLI の熱パラメータの温度特性

(*2)約 50 回路分の電力ラインが開放[短絡]する可能性

2. 試験の中間結果

2.1 帯電 / 放電に係る試験

(1) 試験の目的

太陽電池パドルハーネスと MLI 間の帯電 / 放電について、仮説として考えている放電が発生し得るか否かを確認する。

平成 15 年第 6 回調査部会では、筑波宇宙センターの試験設備を使用して実施した試験結果を報告した。その段階では、ハーネス 2 本の被覆に故意

に傷をつけた箇所において、ハーネス間の持続的な放電が発生し、隣接するハーネスも短絡したことが確認されたが、突入電流防止機能を有さない電源を使用したため、放電初期に過大な突入電流が流れたことにより持続放電に至った可能性も考えられた。

今回、突入電流を防止することができるアレイ回路電圧模擬用電源を使用するとともに、バックグラウンド真空度、プラズマ密度をより軌道上の環境に近づけたコンフィギュレーションでの試験を実施した。

(2) 供試体

「みどりII」実機と同等のハーネス及びMLIを使用した。

(3) 試験概要

九州工業大学の試験設備を使用して、2つのコンフィギュレーションの試験を実施した。真空チャンバ内にセッティングした供試体の写真を図2.1-1に示す。

a) コンフィギュレーション1(図2.1-2)

平成15年第6回調査部会で報告した試験計画に基づくものである。

前回の筑波宇宙センターでの試験結果を受け、被覆に傷をつけたハーネス2本(HOT/RTNの一組)に、突入電流防止機能を有するアレイ回路電圧模擬用電源(V1)と、衛星負荷模擬回路(Cst、RL、V3)を接続した。

また、傷つきハーネスに隣接して、104本のハーネス束を配置した。ハーネス束はヒータを兼ね、接続した負荷を変化させることにより温度を制御することができる。

MLIには、ポテンシャル電位を印加する電源(Vb)と、MLIとハーネスの間の容量を模擬するコンデンサ(Cext)を接続した。

プラズマ環境下において、MLIポテンシャル電位を徐々に下げて行き、ハーネスとMLIの間の放電発生及びそれをトリガとするハーネス間の放電発生をモニタした。

b) コンフィギュレーション2(図2.1-3)

コンフィギュレーション1を発展させ、MLIに何らかの要因で穴が開いていたことを想定し、この穴からプラズマがハーネス周辺に導入されている状態を模擬した。

MLIの穴を通じたハーネスと衛星構体表面との電氣的結合を考慮した模擬回路(R4、V4、Ccg)を追加した他はコンフィギュレーション1と同じである。

(4) 試験条件

試験条件は次のとおり。前回、筑波宇宙センターで実施した試験条件も併せて示す。

項目	今回 (九工大)	前回 (筑波)*	備考
真空度	約 10^{-4} torr	約 0.5 torr	試験設備の能力による。前回 (0.5 torr) より放電は起き難い環境。
プラズマ密度	約 10^{12}m^{-3}	なし	高度 800km 程度とほぼ同等。
MLI ポテンシャル電位	約 -1.7kV 以下	約 -1.2kV 以下	試験設備の能力による。過去に DMSP 衛星 (高度約 840km) で最大約 -2000V、「みどり」で最大約 -700V の観測事例がある。
ハーネス間電位	約 60V	約 60V	「みどり II」実機とほぼ同じである。今回は突入電流を防ぐためアレイ回路電圧模擬用電源を使用した。
軌道上環境模擬用外部コンデンサ容量	Cext=50nF 及び Ccg=100 μ F	Cext=95nF 及び Ccg=なし	NOAA-17 が 10/24 に観測したオーロラ帯における高エネルギー粒子のフラックスデータを考慮して、MLI 最内層と電線間の容量をもとに Cext の値を算出した。コンデンサの入手状況により前回試験時と完全に同じものではないが、電荷量のオーダーは同じ。 コンフィギュレーション 2 のみ、衛星構体 MLI の容量を模擬したコンデンサ (Ccg=100 μ F) を追加した。

* 前回、筑波での試験では、このような条件下において、持続放電の発生及び隣接するハーネスへの波及が観察された。

(5) 試験の中間結果

それぞれのコンフィギュレーションでの試験結果は次のとおり。

a) コンフィギュレーション 1 (図 2.1-2)

傷つきハーネス間で 100 μ s ~ 2ms 程度の単発の放電が観測されただけで、

持続放電には至らなかった。ハーネス温度を約 100 まで上昇させたが、状況は変わらなかった。(次の試験を考慮し MLI の変質を避けるため、温度は 100 までとした。)

b)コンフィギュレーション2(図2.1-3)

コンフィギュレーション1と同様、単発の放電は観測されたものの、持続放電には至らなかった。

取得した電圧値の一例を図2.1-4に示す。傷つきハーネス間の電圧がおよそ 500 μ s の間、約 60V から約 30V に低下している。このことは、ハーネス間で放電が発生したが、完全な短絡はしていなかったことを示す。

また、ハーネス温度を 250 まで上昇させた結果、ハーネス間の放電の回数が若干増加したものの持続はしなかったが、さらに傷の形状等をパラメータとして持続放電との関係を確認する必要がある。

試験後のハーネスの外観を図2.1-5に示す。傷周辺の被覆が焦げ、一部溶融している。

(6)考察及び今後の予定

前回の筑波宇宙センターでの試験に比べ、より軌道上環境に近い条件で試験を実施した結果、ハーネス間の持続放電には至らなかった。しかし、前回の試験で、持続放電が発生すれば隣接回路へ波及することが確認されており、今後は持続放電発生条件として、傷つきハーネスの本数、傷の形状、線間電圧等との関係を確認していく。



真空チャンバ
(1m × 1.2m)

供試体
(MLI 長さ 38cm)

図 2.1-1 真空チャンバ内の供試体

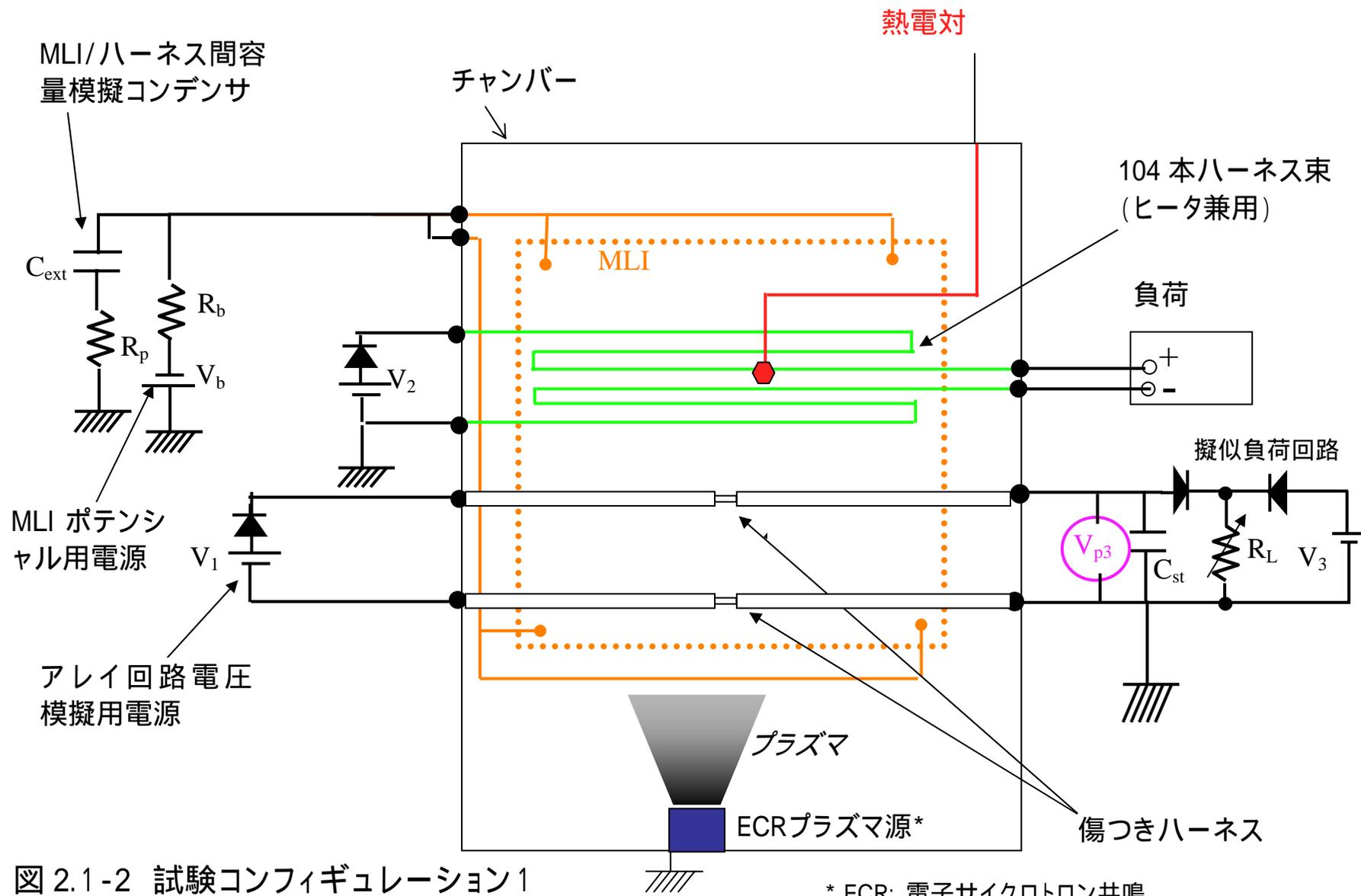
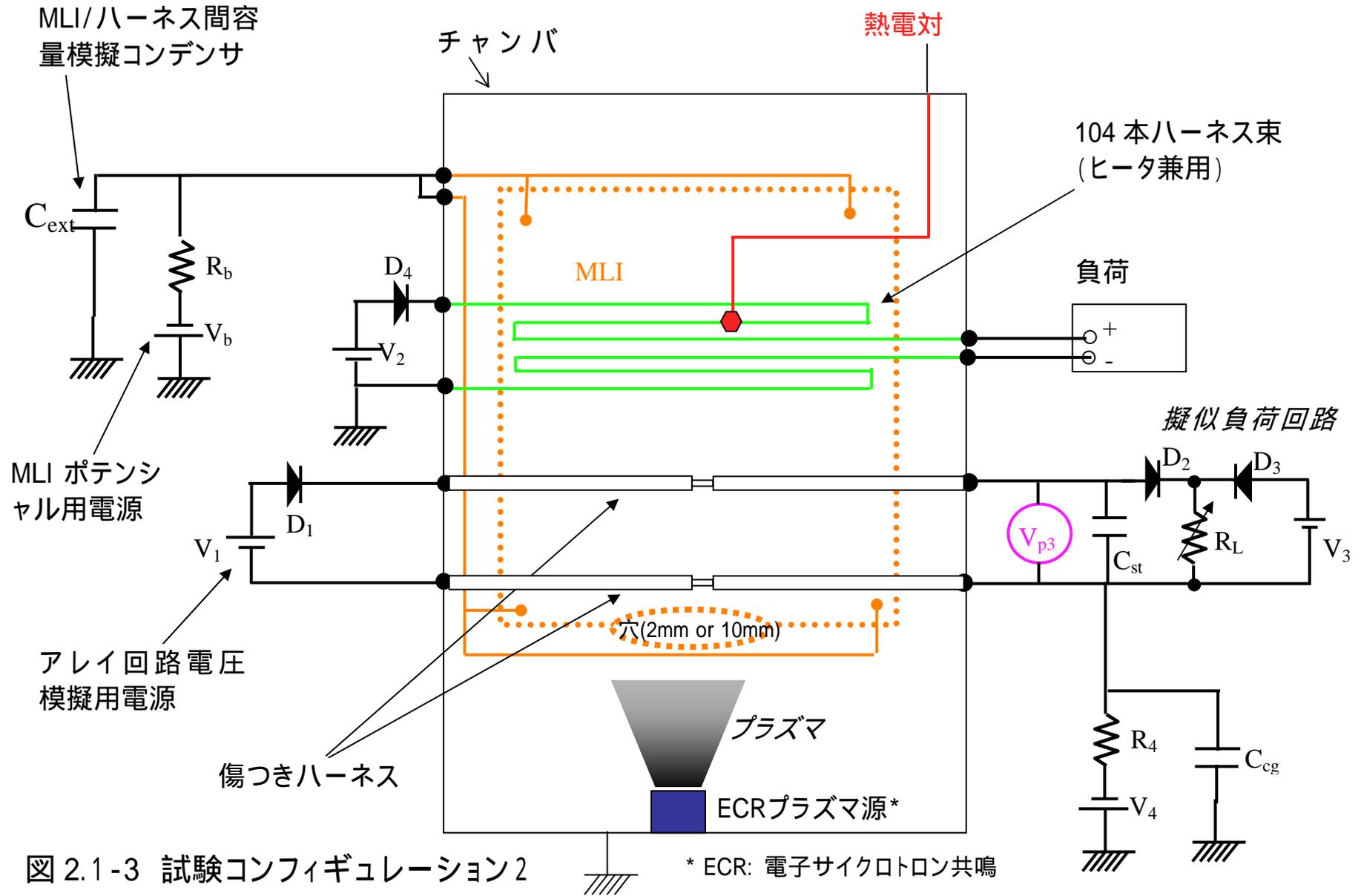


図 2.1-2 試験コンフィギュレーション1

* ECR: 電子サイクロトロン共鳴



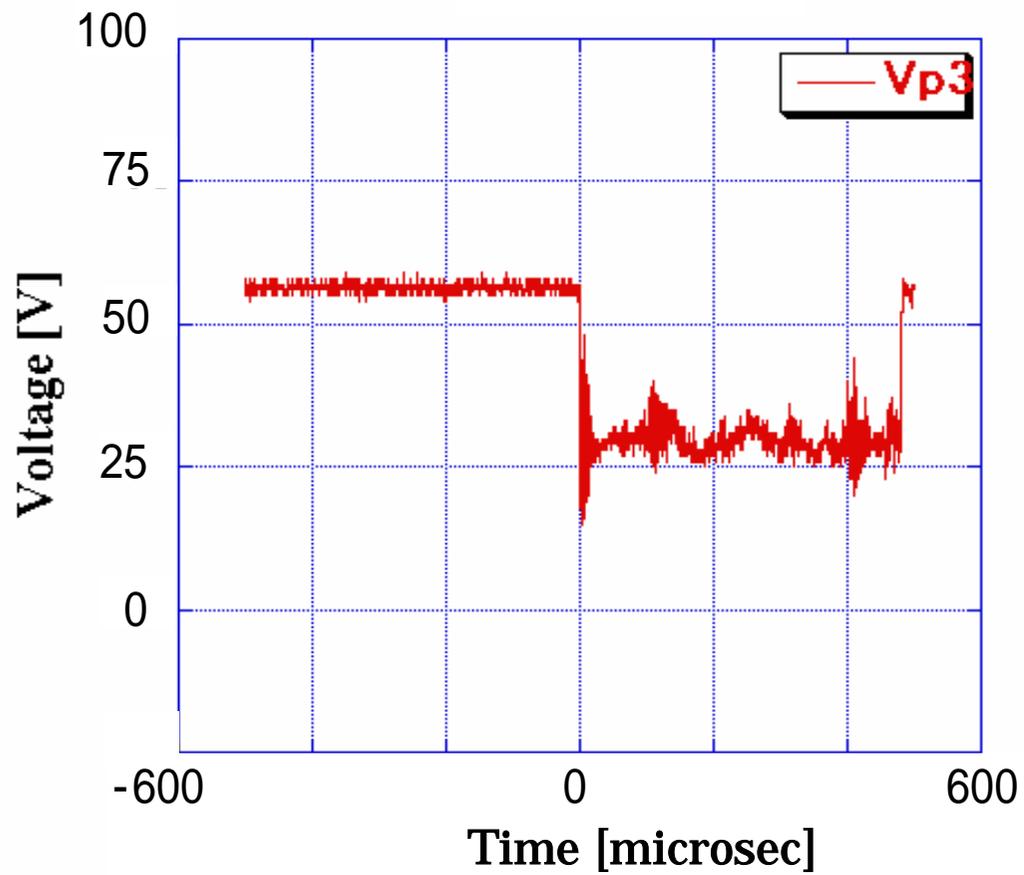


図 2.1-4 放電発生時のハーネス間電圧波形

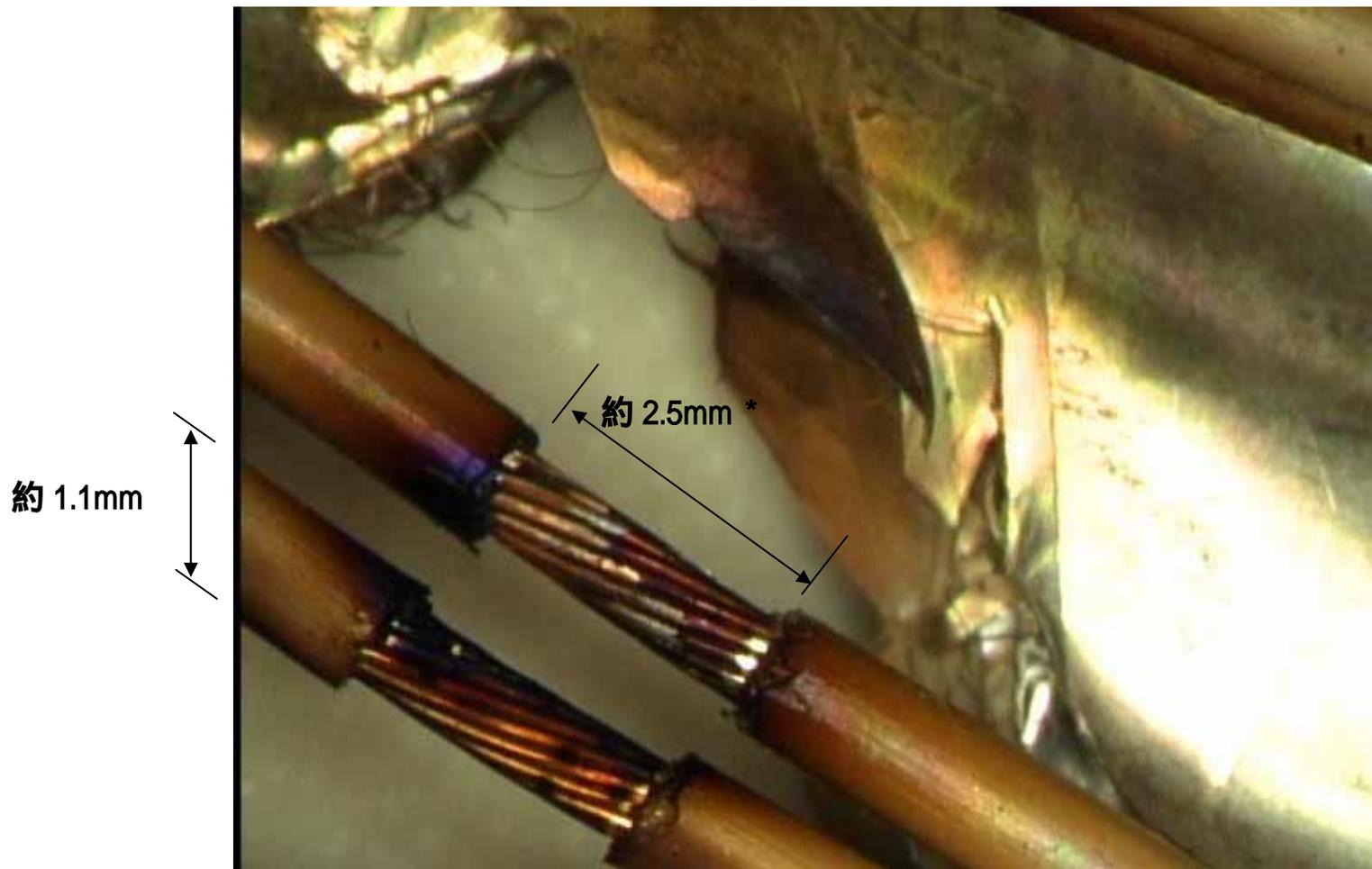


図2.1 - 5 試験後のハーネスの外観

2.2 ブーム／ハーネス熱サイクル試験

(1) 試験の目的

実機を模擬したブーム／ハーネスに対して、軌道上で遭遇した可能性のある熱サイクルを印加し、試験前後のハーネス束の特性変化を評価する。なお、本試験の準備段階としてハーネス温度150℃以上の熱平衡試験も合わせて実施し、熱数学モデルの最終確認を実施する。

(2) 供試体

- ・「みどり」のブーム熱構造モデル(STM)
 - ・「みどり」実機と同じ作業者が新規製作したハーネス
- 注：いずれも、「みどり」と同等品

(3) 試験概要

供試体を真空チャンバ内に設置し、軌道上平均熱入力相当の熱量を供試体外部から与えた状態において、軌道1周回を模擬したサイクル通電による熱サイクル試験を実施する。

(4) 試験条件

真空度	1×10^{-5} torr 以下
シュラウド温度	-180℃ 以下

(5) 試験の中間結果

熱平衡試験で取得したデータを用いて熱数学モデルの最終確認を実施した結果、104本の電力ラインが束になっているハーネスの最も高温となる部位は、軌道上で230℃/101℃の温度サイクルを経験していたと推察される。

熱サイクル試験は、上記解析温度に一致するように実施し、現時点で200サイクルまで終了している(注)。

(注)熱数学モデルによる軌道上温度解析結果と同等またはより厳しい熱サイクルを負荷するように試験条件を調整した。本試験ではブーム／ハーネス部のみを供試体としており、軌道上を完全に模擬していないことによるが、熱サイクル印加前後のハーネス束の特性変化を評価する試験目的への影響はない。

	計画時	実施時
通電電流 / 時間	1.78A / 67分 0A / 33分	1.805A / 60分 0A / 50分

図2.2-1に、100V印加時におけるハーネスの絶縁抵抗のトレンドを示

す。200 サイクルまでは、絶縁抵抗は増大する傾向にあり、絶縁特性の低下は認められない。

図2.2-2に、104本の電力ラインが束になっているハーネスの最も高温となる部位における測定温度を示す。200 サイクルまではハーネス温度が微増を続けている。

(6) 考察及び今後の予定

200 サイクルまでは、ハーネスの絶縁特性低下は見られていないことから、当初計画の200 サイクルを延長して試験を継続することとし、300 サイクル終了後にハーネスの外観等进行检查する予定。

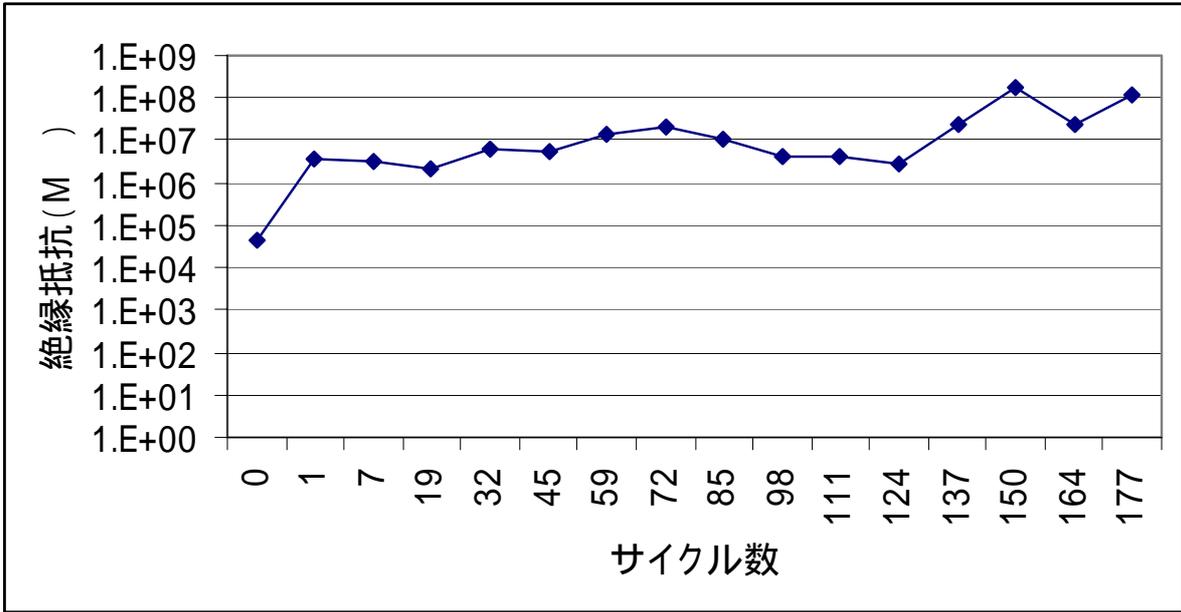


図2.2-1 ハーネス絶縁抵抗トレンド(200 サイクルまで)

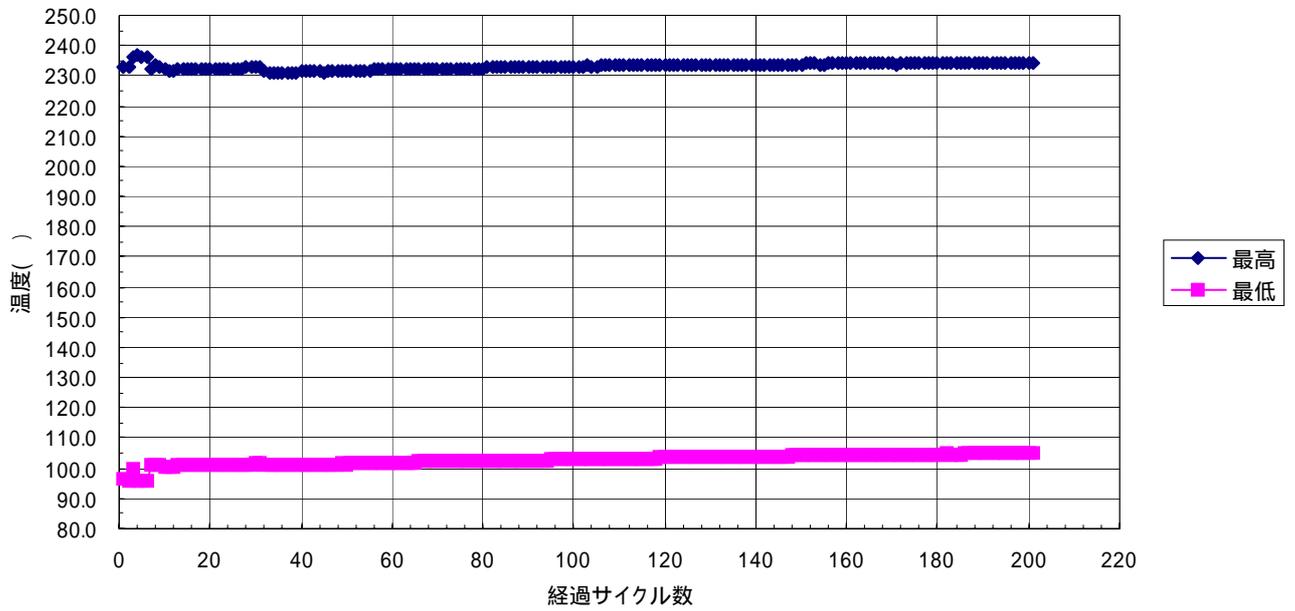
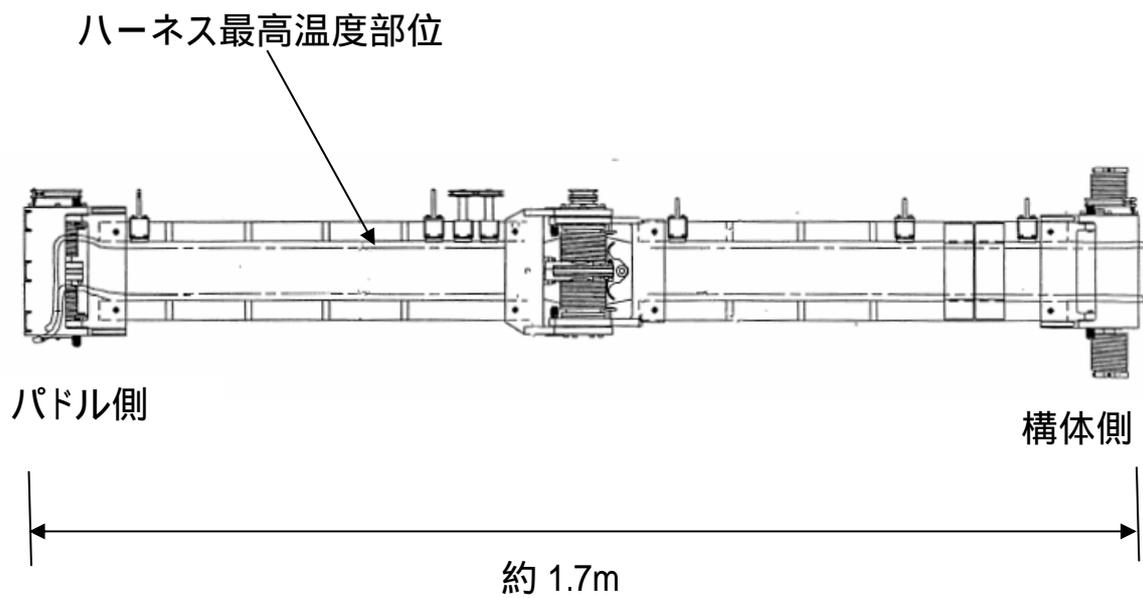


図 2.2-2 ハーネス温度トレンド(200 サイクルまで)



2.3 電線クリープ試験

(1) 試験の目的

ブームヒンジ部のハーネスが曲がっているところにおいて、高温下で電線被覆に発生するクリープ現象により、電線芯線が電線の中立軸から移動して被覆から露出する可能性の有無を確認する。

(2) 供試体

「みどり II」実機と同等のハーネス及びブームヒンジ部を模擬した治具(図2.3-1参照)

(3) 試験概要

NEC 東芝スペースシステム(株)の試験設備を使用する。104本束の電線を、ブームヒンジ部を模擬した治具に取り付け、加熱炉で高温に曝した後、電線の外観及び断面を確認する。

(4) 試験条件

試験条件は次のとおり。

温度 : 260 ~ 270

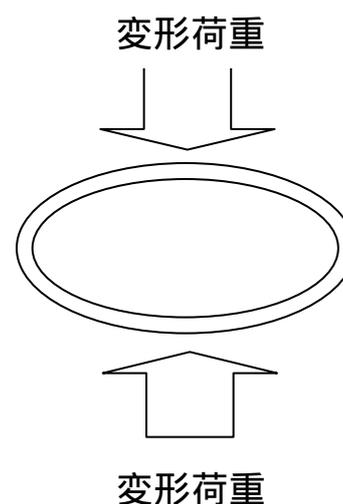
気圧 : 大気圧

雰囲気 : 乾燥窒素ガス雰囲気

高温維持時間 : 約 30 時間

高温維持時間の算出根拠

試験に先立ち、円形に巻いた電線を曲げ R=10 程度(ヒンジ部の最小 R 相当)になるように変形荷重を加えた状態で雰囲気温度 250 に放置したところ、約 10 時間で変形荷重がほぼ 0 になった。この時点でクリープを起こさせる力は消失すると考えられる。試験では余裕を見て 3 倍の時間とした。



(5) 試験の中間結果

図2.3-2に試験後のハーネス外観を示す。電線被覆は褐色に変色し、柔軟性が失われていたが、芯線の露出は確認されなかった。

図2.3-3に曲げ部のハーネス断面写真を示す。電線被覆厚は、薄い

部分で $145\ \mu\text{m} \sim 154\ \mu\text{m}$ 、厚い部分で $166\ \mu\text{m} \sim 185\ \mu\text{m}$ と、電線の製造規格内 ($140\ \mu\text{m} \sim 191\ \mu\text{m}$) であった。

電線被覆の絶縁抵抗を測定する予定であったが、電線端部を束ねるために巻いていたガラスクロステープの粘着材が溶け出して電線間が固着し、計測器を接続できなかったため、測定を断念した。なお、実機の当該ハーネスでは、ガラスクロステープはブーム中央ヒンジ部角に接触する部分に使用しているのみであり、溶融した粘着材がコネクタ等に付着することはない。

(6) 考察及び今後の予定

想定される軌道上温度では、ハーネス曲げ部において、クリープ現象により電線芯線が被覆から露出することはないと考えられる。

さらに、ハーネスがヒンジ部角に接触していた部分についても断面観察を行っているところ。

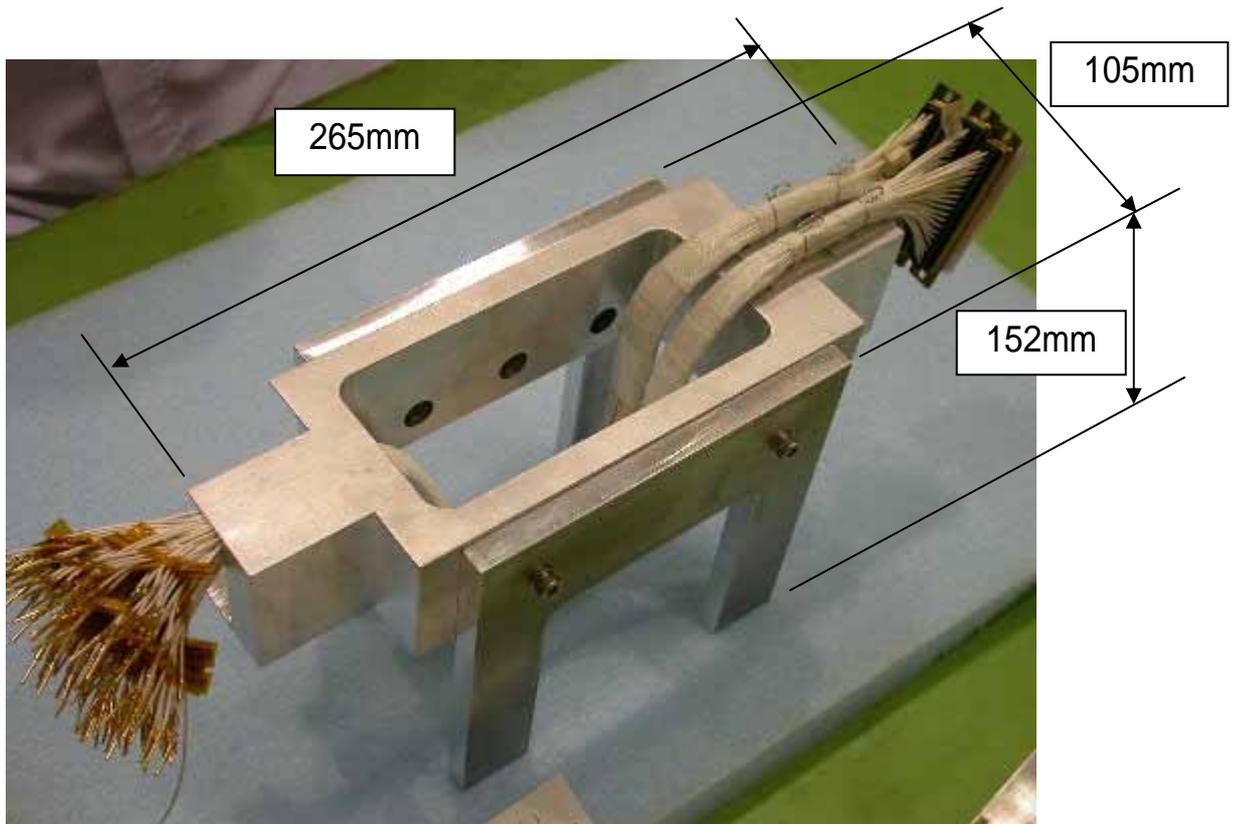


図 2.3-1 供試体

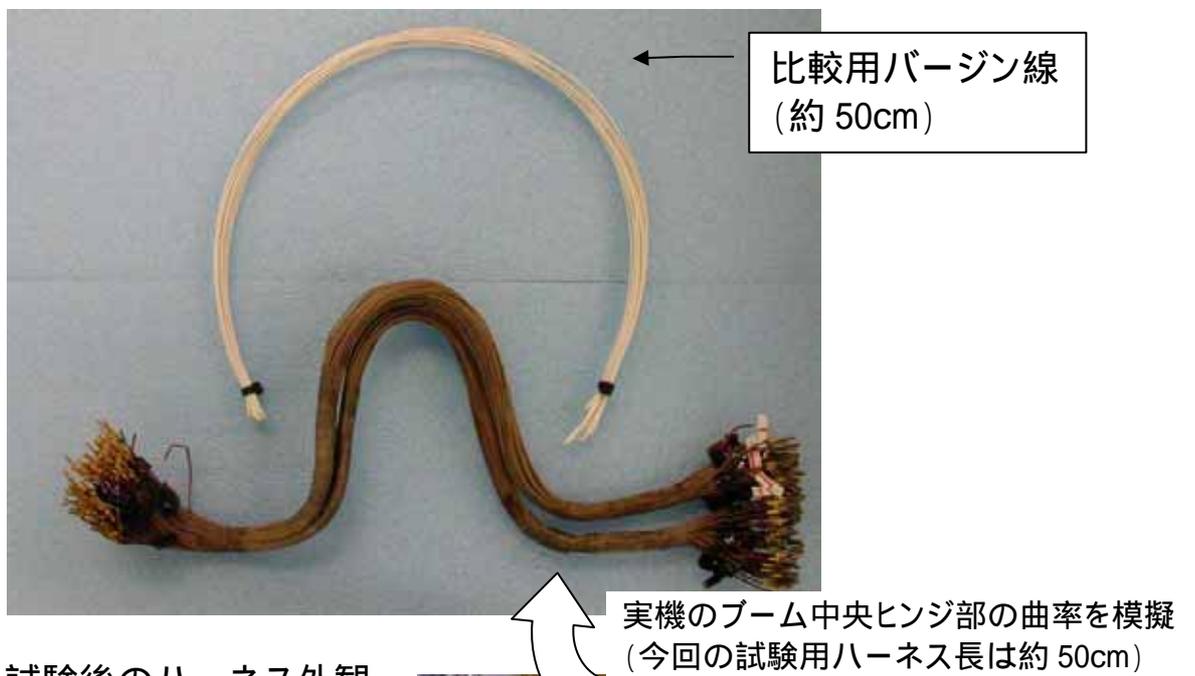


図 2.3-2 試験後のハーネス外観



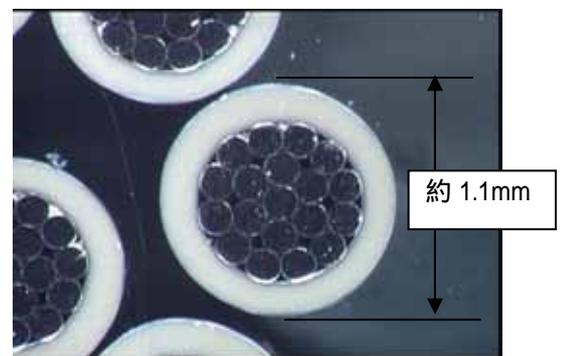
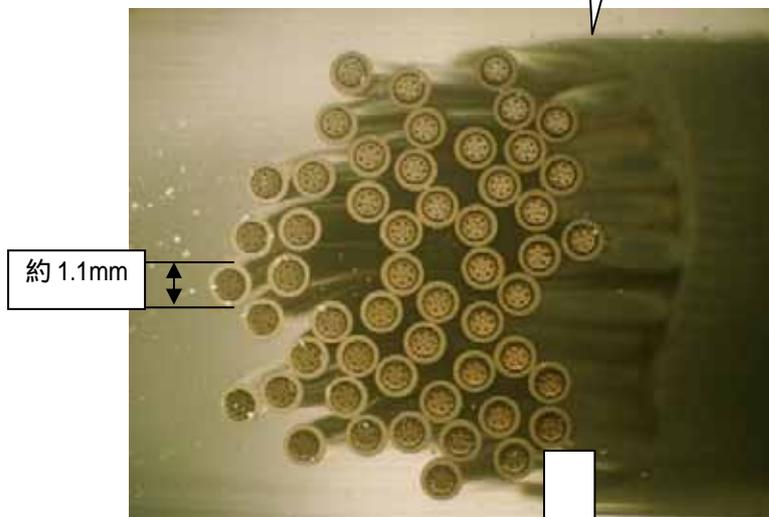
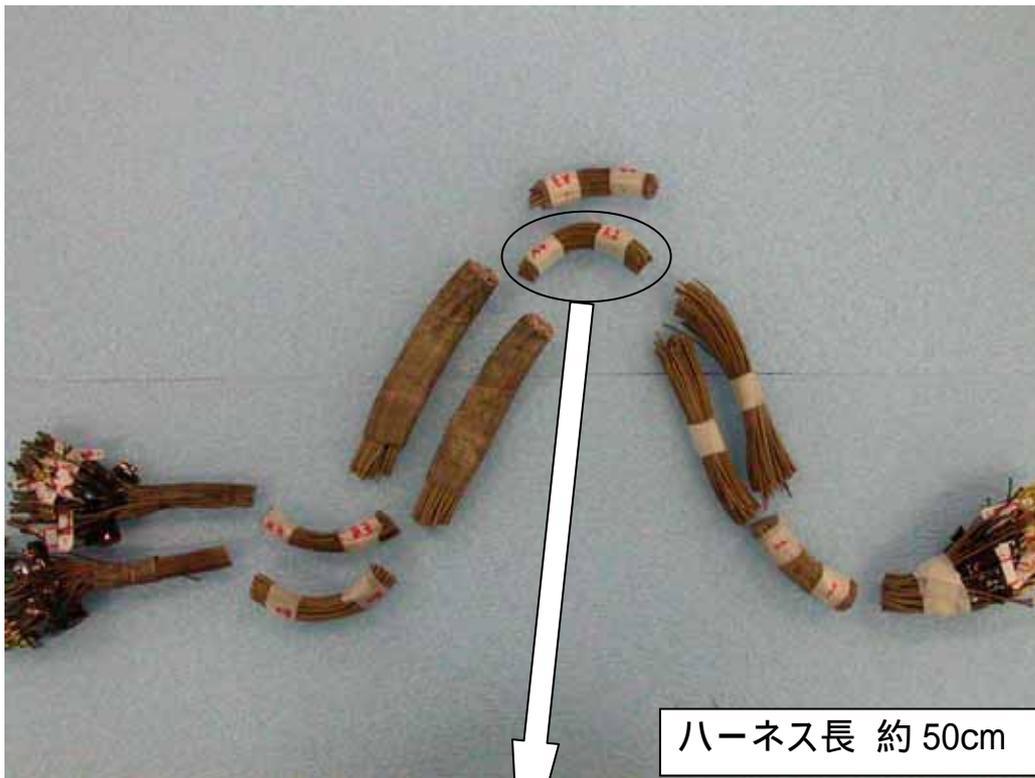
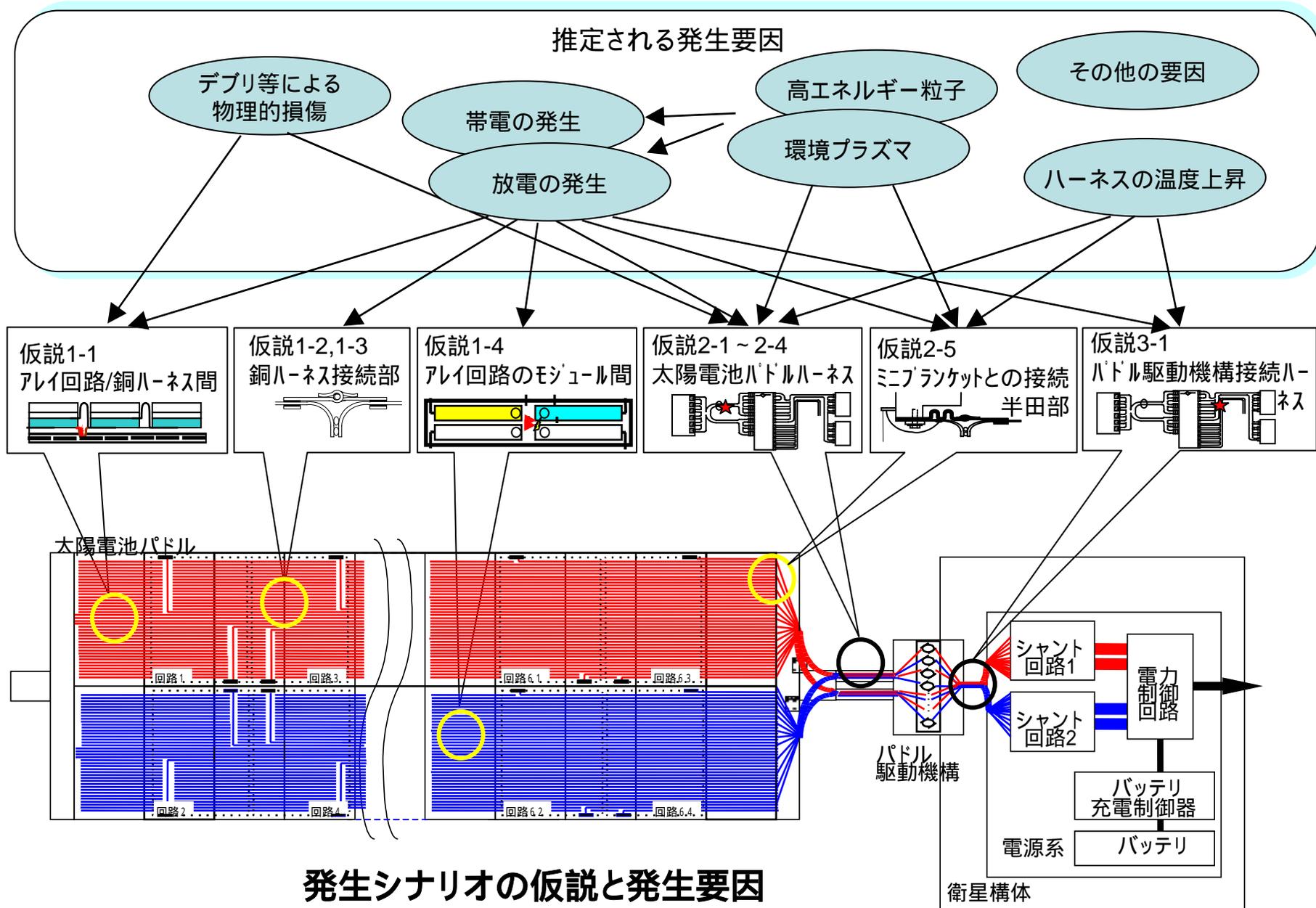
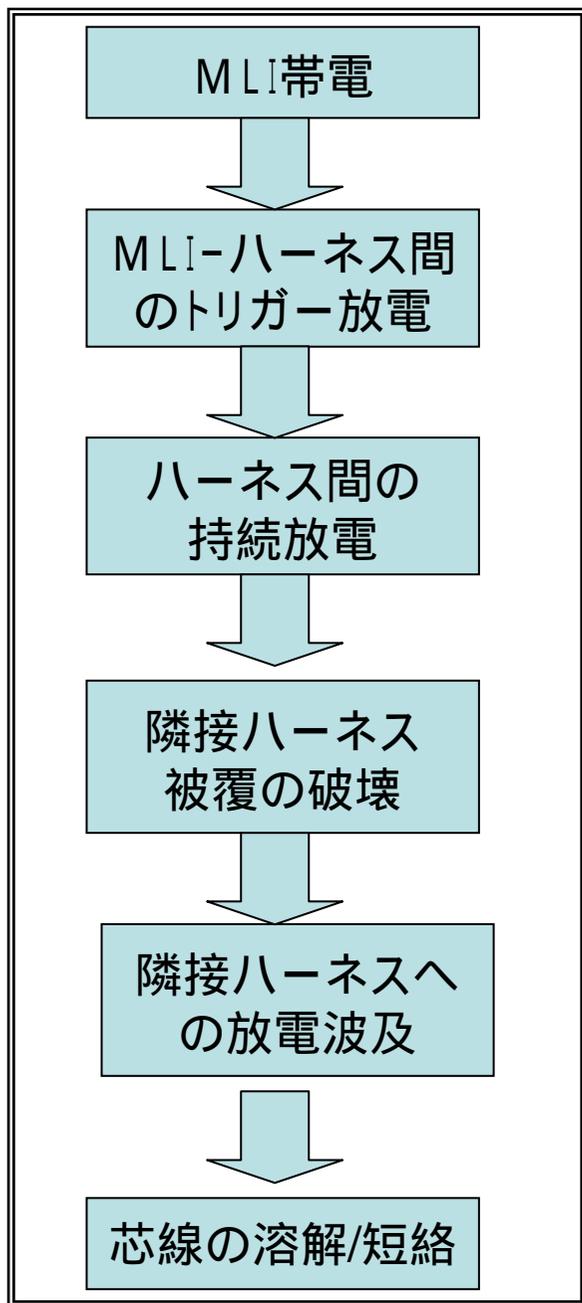


図 3.2-3 ハーネス断面

3.まとめ

現在実施している試験の中間結果について報告した。引き続き、試験及び取得データの評価を行う。





左記事象を起こす要因の例

参考2

宇宙環境 (電子線による帯電試験はH15-4-3で報告)

ハーネス被覆の損傷

軌道上温度 (今回報告)

クリープ (今回報告)

電圧、温度 } (引き続き試験を実施)
ハーネスキズの形状、サイズ

MLIのキズ (今回報告)

持続放電に伴う温度上昇による被覆の劣化

被覆材の昇華

(H15-6-3で報告)