

調査 8-1-1

**環境観測技術衛星 (ADEOS-II) 「みどりII」
の太陽電池パドルに関する開発時の試験・
検査について**

平成15年12月24日

独立行政法人

宇宙航空研究開発機構

目次

●はじめに	...	3
●太陽電池パドルフライトモデルの製造・組立・試験の流れ	...	4
製造・組立フロー詳細	...	5
試験フロー詳細	...	6
製造・組立・試験スケジュールの実績	...	7
PAD-PDM噛み合わせ試験(PDL-INT試験)	...	8
●太陽電池パドルサブシステムの電気性能試験	...	9
ブーム展開試験	...	10
パドル開試験	...	12
熱真空試験	...	14
正弦波振動試験	...	15
●衛星システムの電気性能試験	...	16
熱真空試験	...	18
正弦波振動試験	...	19
パドル保持解放衝撃試験	...	20
END to END試験	...	21
パドル全回路導通確認電力回路導通確認	...	22
●製造・組立・試験時の太陽電池パドル系に関わる主な特記事項	...	23

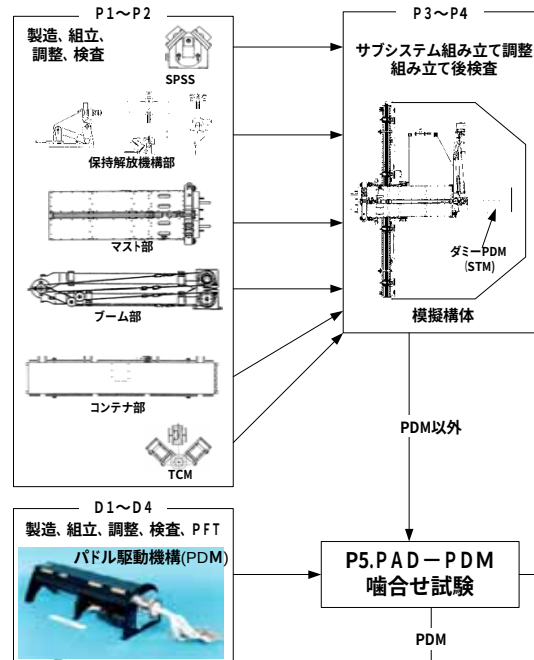
はじめに

第4回調査部会において、「みどりII」で実施した太陽電池パドル等の設計・製造・試験・検査の流れについて提示した（資料：調査4－4）。第8回調査部会では、前回の資料を補足し、さらに詳細な製造・試験・検査の内容について報告する。

また、調査部会構成員からの過去の不具合事象に関する説明要請に応え、あわせて、太陽電池パドルの製造・試験・検査の際に発生した主な特記事項について報告する。

太陽電池パドル (プロトフライトモデル) に関わる製造・組立・試験の流れ

太陽電池パドル製造・組立

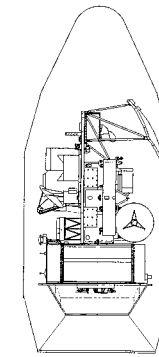


太陽電池パドル サブシステム試験

P6~P15

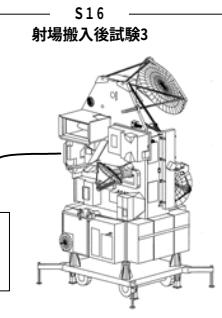


衛星システム試験



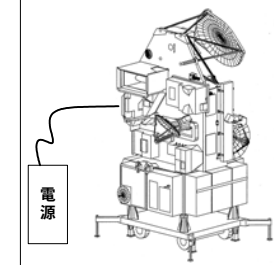
打上

※シャント部コネクタより給電

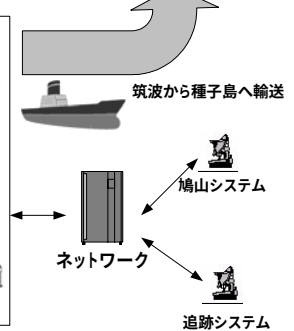
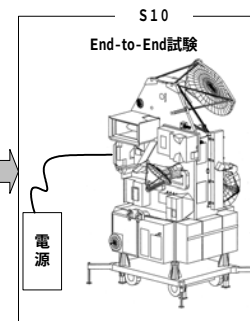
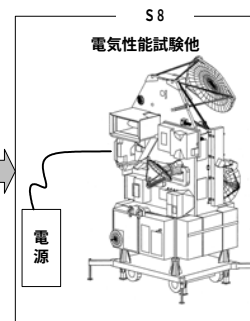
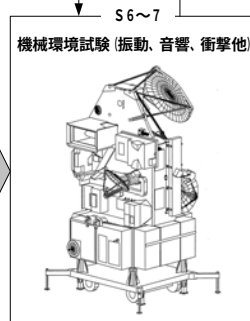
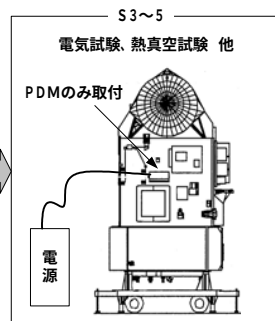
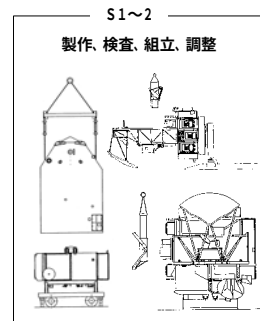


長期保管

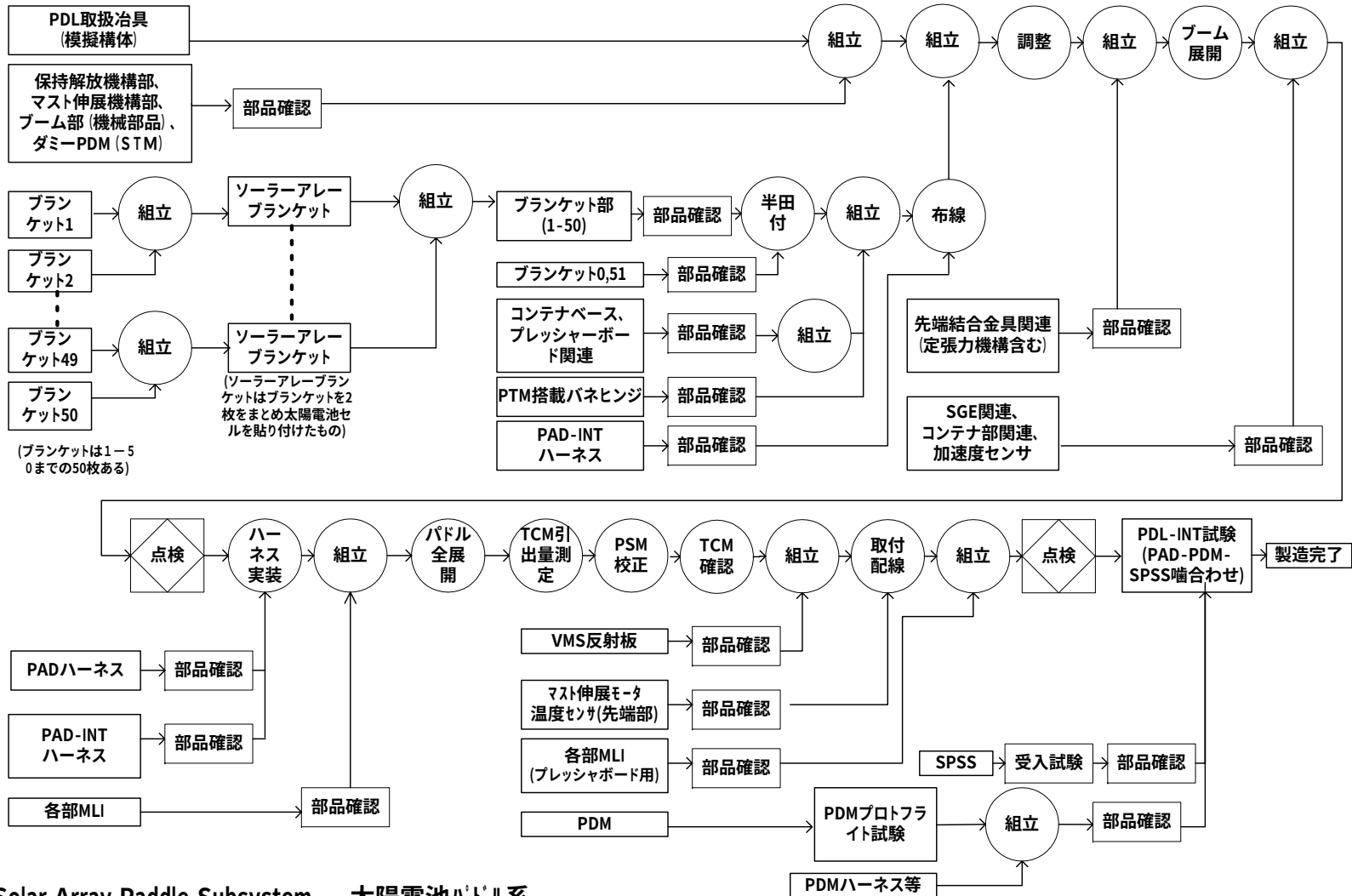
S12~S14 射場搬入後試験1,2



※PDMコネクタより給電
※PDL全ストリング確認(射場搬入後試験2) ('みどり' から強化された試験)



太陽電池パドル製造・組立フロー詳細



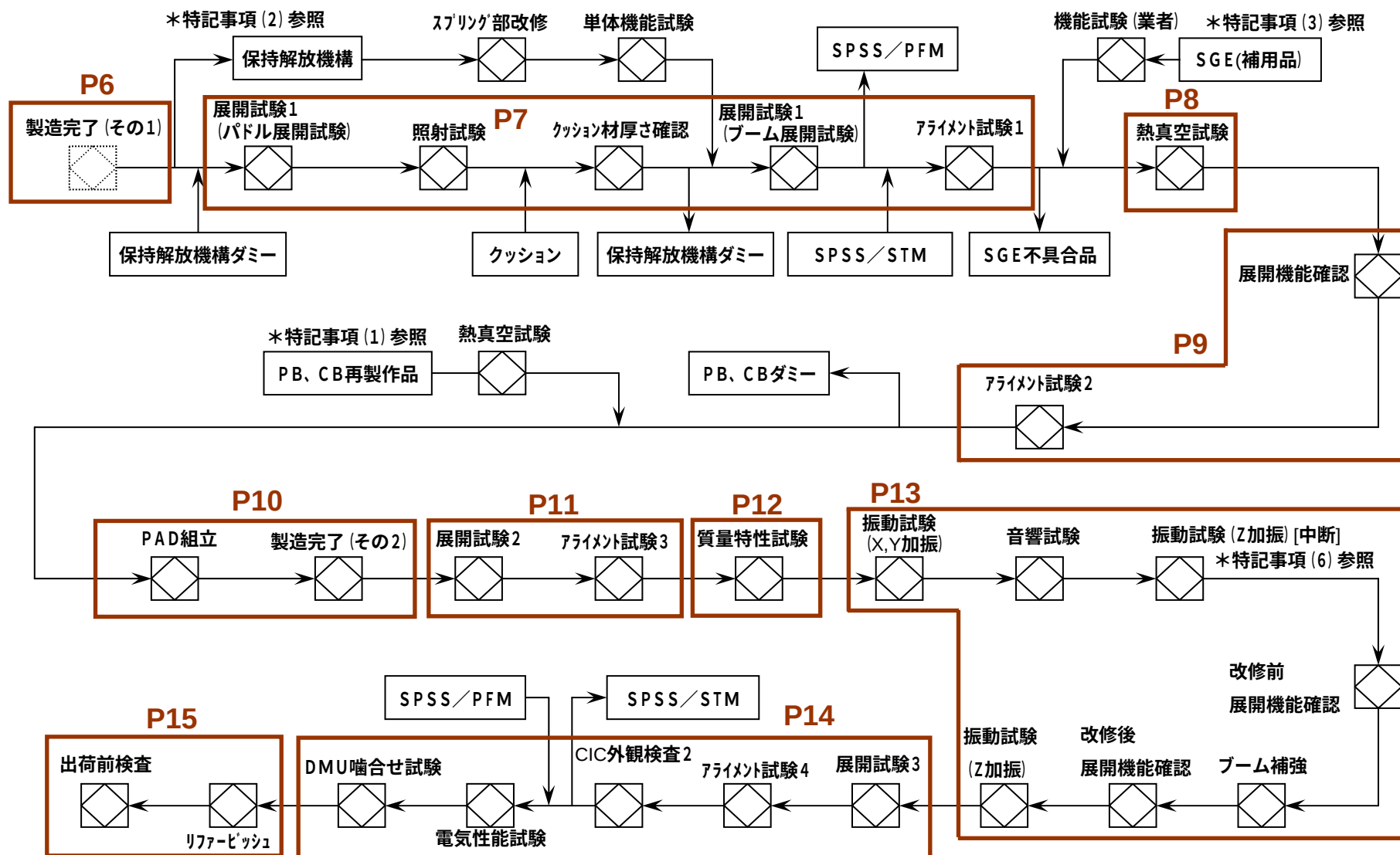
PDL :Solar Array Paddle Subsystem
PDM :Paddle Drive Mechanism
STM :Structural Thermal Model
PTM :Paddle Tension Monitor
PAD :Solar Array Paddle
INT :Integration Hardware Subsystem
SGE :Strain Gauge Electronics

太陽電池パドル系
パドル駆動機構
熱構造モデル
パドルテンションモニタ
太陽電池パドル
計装系
ストレインゲージ・エレクトロニクス

MLI :Multi Layer Insulation
TCM :Tension Control Mechanism
PSM :Paddle Stroke Monitor
VMS :Visual Monitoring System
PDM :Paddle Drive Mechanism
SPSS:Solar Paddle Sun Sensor

マルチレイヤー・インシュレーション
テンションコントロール機構
ハンドルストロークモニタ
視覚モニタ
ハンドル駆動機構
ハンドル追尾用太陽センサ

太陽電池パドルサブシステム試験フロー詳細



SPSS : Solar Paddle Sun Sensor パドル追尾用太陽センサ
 PFM : Proto Flight Model プロトフライトモデル
 STM : Structural Thermal Model 熱構造モデル
 SGE : Strain Gauge Electronics ストレインゲージ・エレクトロニクス

PB : Pressure Board
 CB : Container Base
 PAD : Solar Array Paddle
 DMU : Dynamics Mounted Unit

プレッシャーボード
 コンテナベース
 太陽電池パドル
 ダイナミクスモニタユニット

太陽電池パドルに関わる組立・試験スケジュールの実績

[illegible]

注：(1)～(10)は、23頁参照のこと。(2)は他プロジェクトからの反映

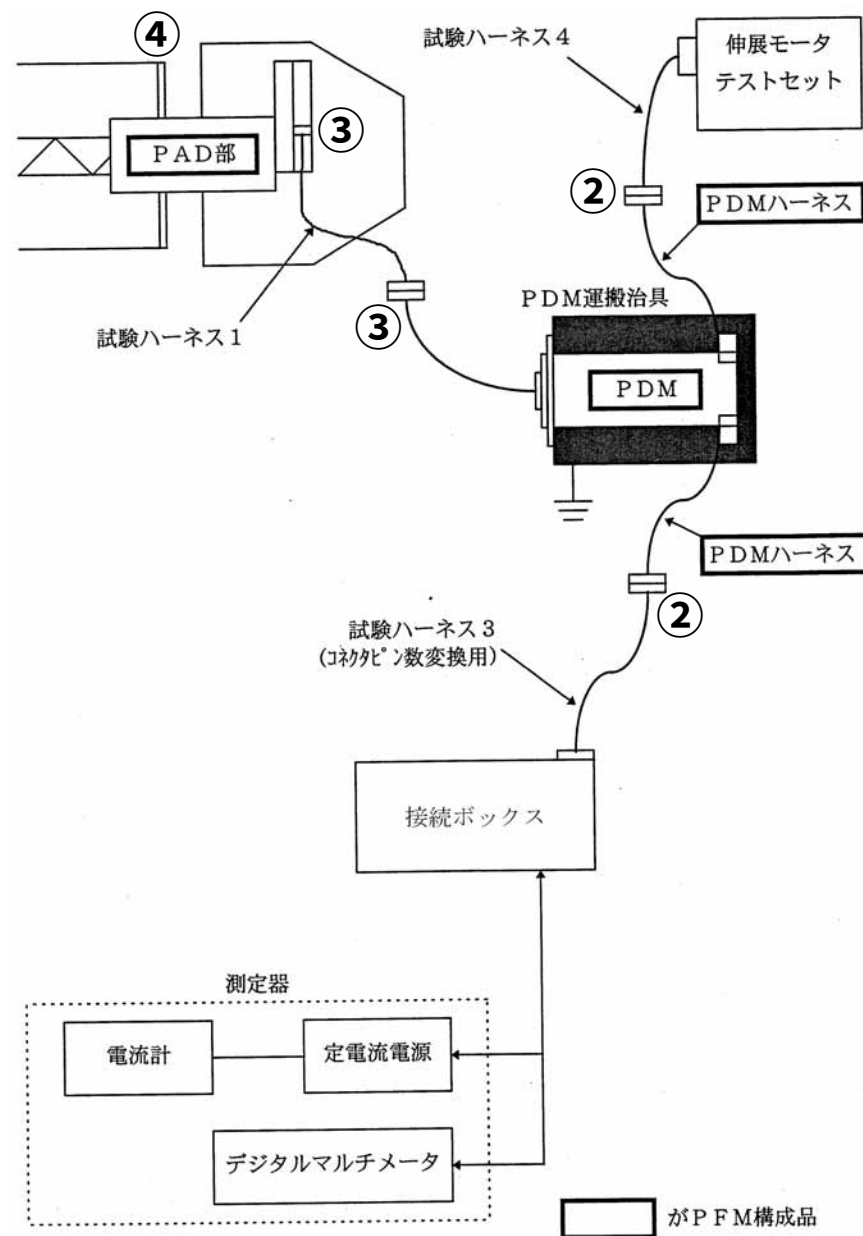
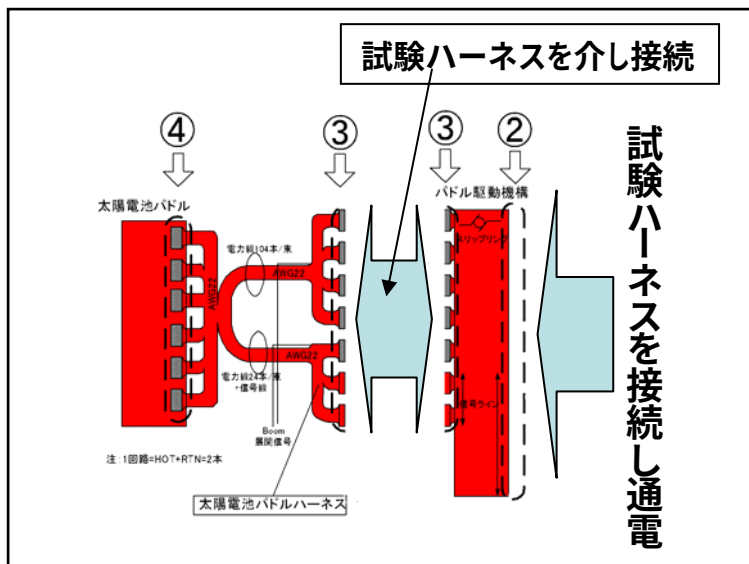
PAD-PDM-SPSS噛合せ試験(PDL-INT試験) (No.P5)

1.目的

太陽電池パドル系(PDL)の全てのハーネスの導通および絶縁を確認する。また、パドル駆動機構(PDM)と太陽電池パドル (PAD)及びパドル追尾用太陽センサ(SPSS)間の機械的／電氣的インタフェースを確認する。

2.試験コンフィギュレーション

- ・PAD及びPDMはフライトモデルを使用
- ・各ハーネス個々に通電



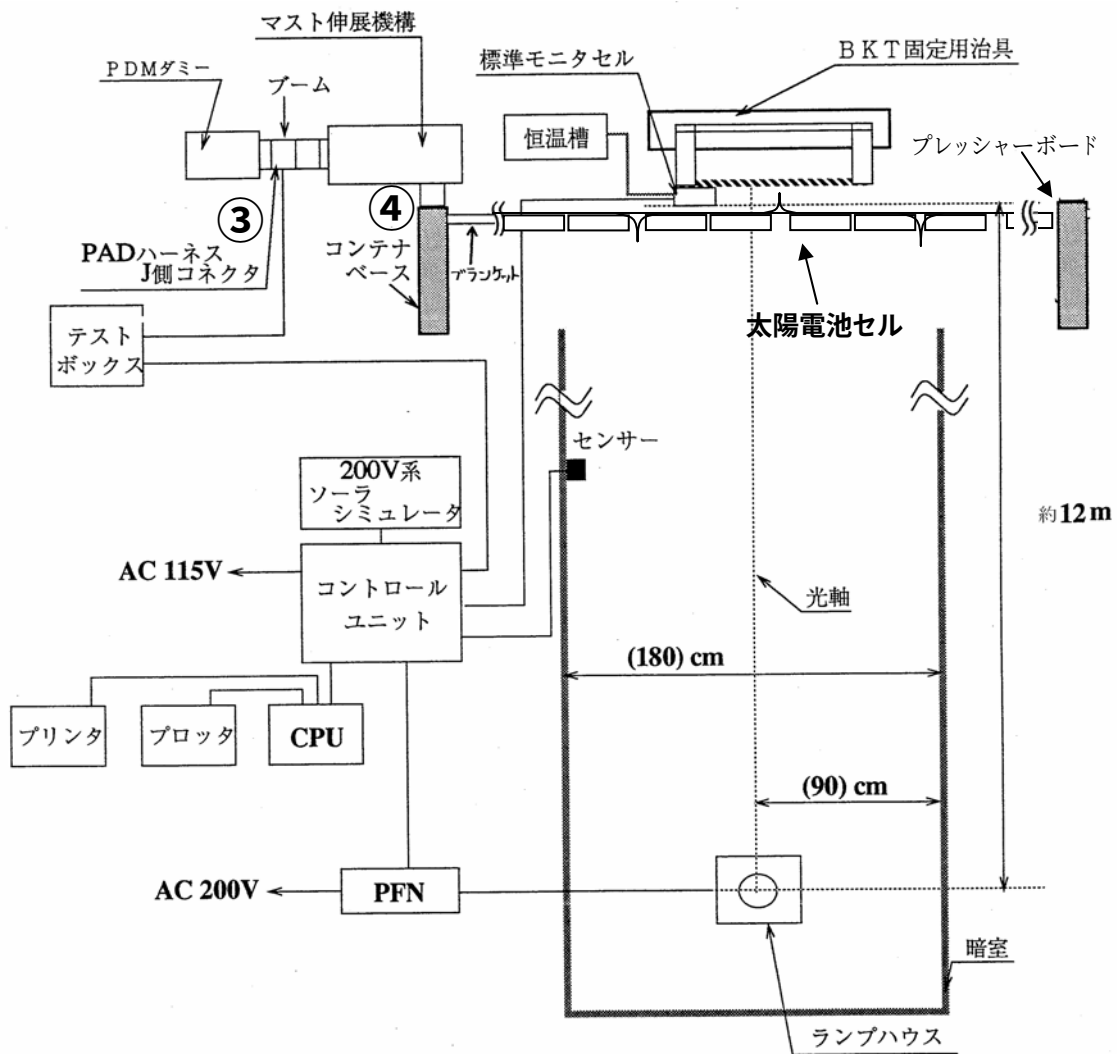
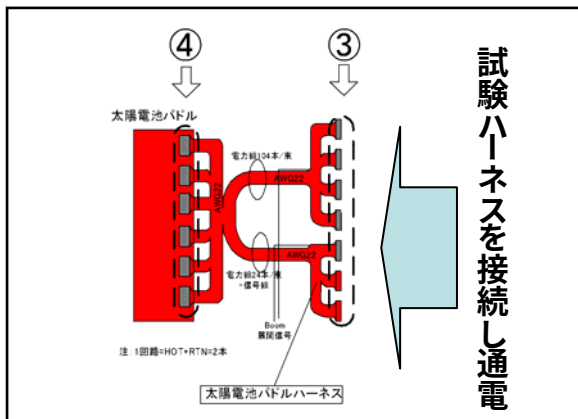
太陽電池パドルサブシステム試験 (No.P7,14,16 パドル電気性能試験)

1.目的

太陽電池セルに擬似太陽光を照射し、各回路ごとの電圧-電力特性を取得することにより、発生電力性能の健全性を確認する。また、ハーネスの接続、非導通、絶縁、極性を確認する。電気性能試験は、パドルPFT初期段階、最終段階、システム機械環境試験後の3回実施し、試験環境負荷による発生電力性能に劣化のないことを確認する。

2.試験コンフィギュレーション

- ・PADはフライトモデルを使用
- ・各ハーネス個々に通電



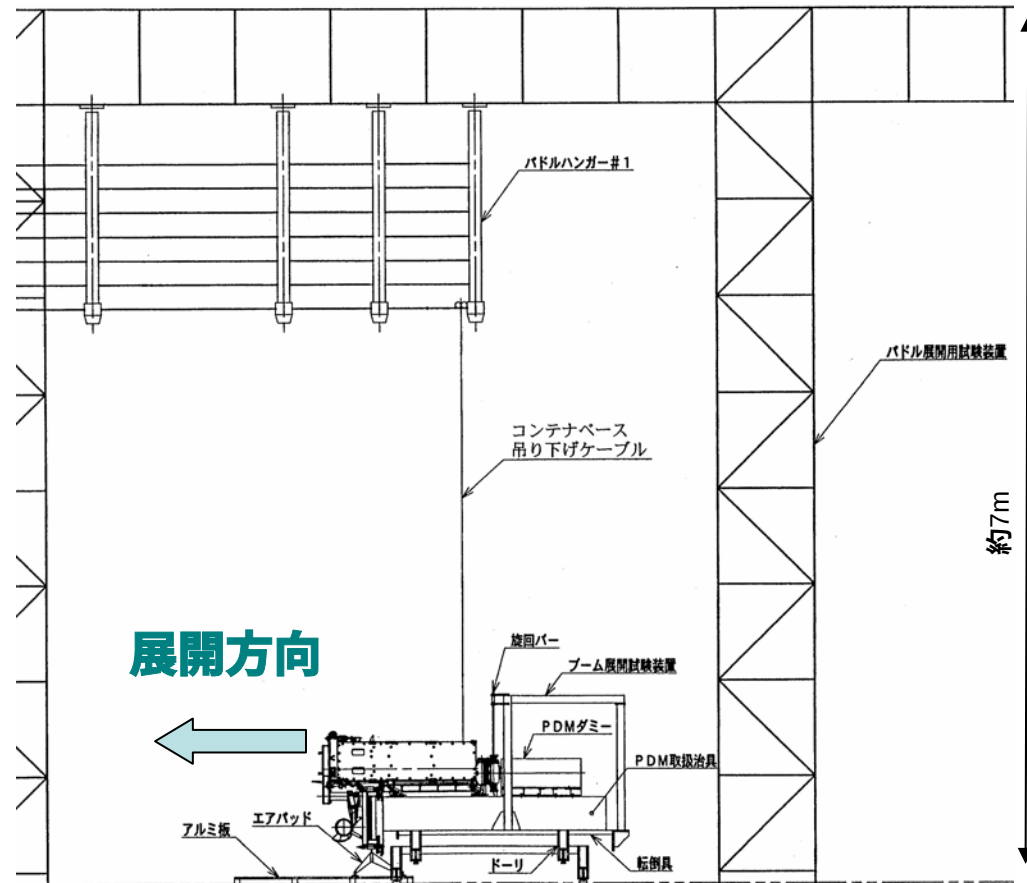
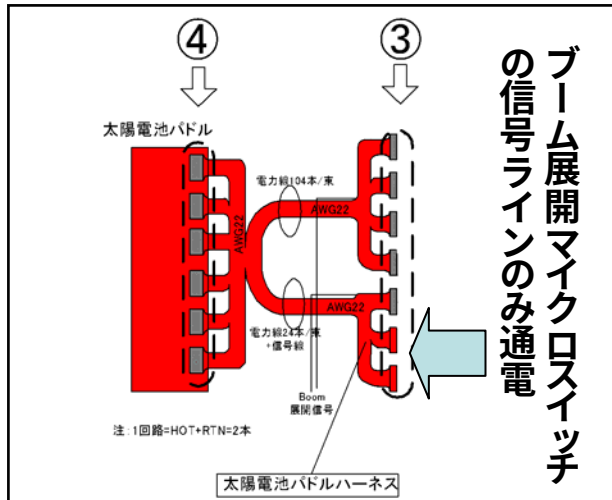
太陽電池パドルサブシステム試験
(No.P7,9,11,14,16 **ブーム展開試験**)

1.目的

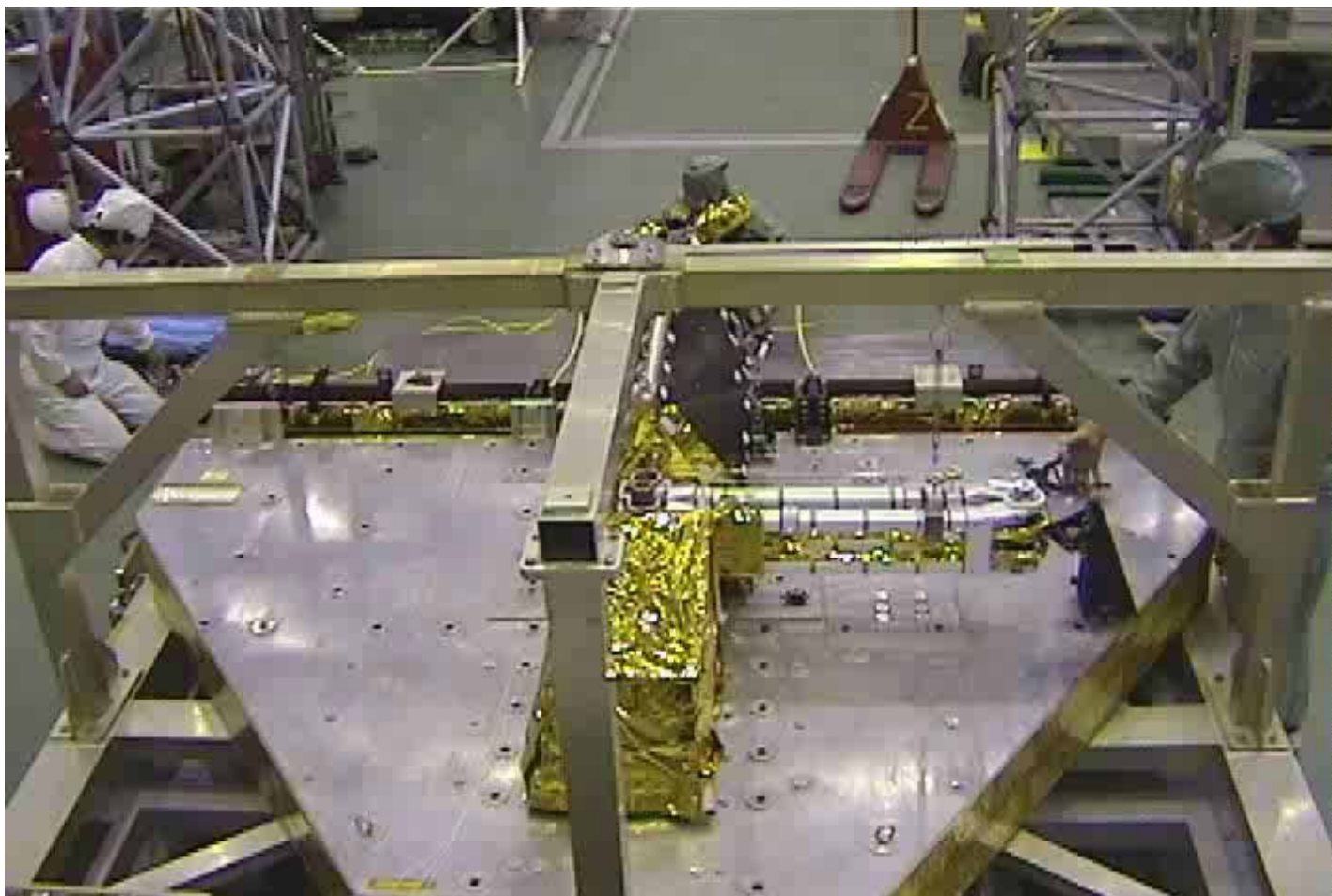
保持解放機能、ブーム展開機能の健全性を確認する。展開試験は、パドルPFT初期段階、熱真空試験後、機械環境試験後、システム機械環境試験後の5回実施し、各試験環境負荷が、保持解放性能、展開性能に影響しないことを確認する。

2.試験コンフィギュレーション

- ・PADはフライトモデルを使用
- ・ブーム展開マイクロスイッチのみ通電



ブーム展開試験状況



(動画)

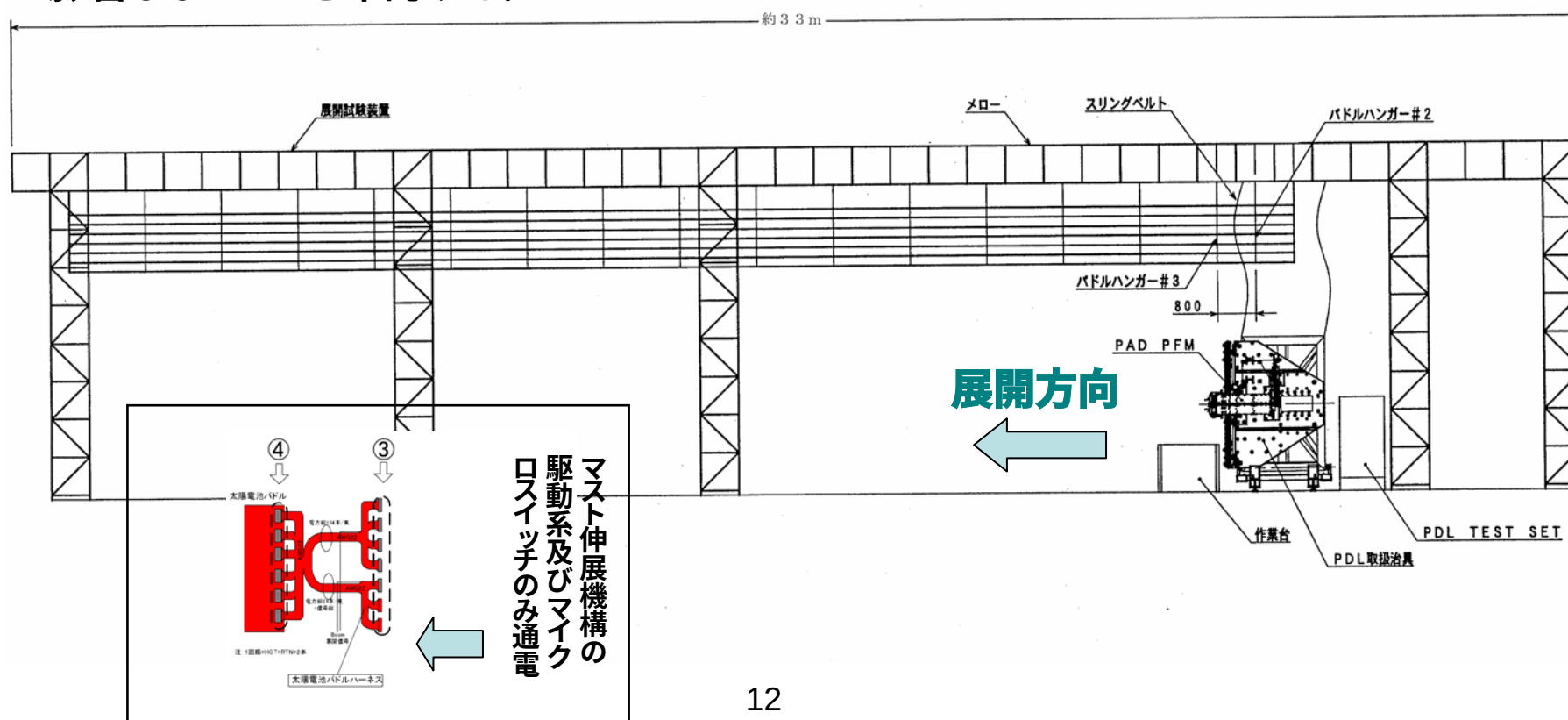
太陽電池パドルサブシステム試験 (No.P7,9,11,14,16 パドル展開試験)

1. 目的

パドル展開機能の健全性を確認する。
展開試験は、パドルPFT初期段階、熱真空試験後、機械環境試験後、システム機械環境試験後の5回実施し、各試験環境が保持解放性能、展開性能に影響しないことを確認する。

2.試験コンフィギュレーション

- ・PADはフライトモデルを使用
- ・マスト伸展機構の駆動系及びマイクロスイッチのみ通電
- ・ブームは収納状態



パドル展開試験状況



(動画)

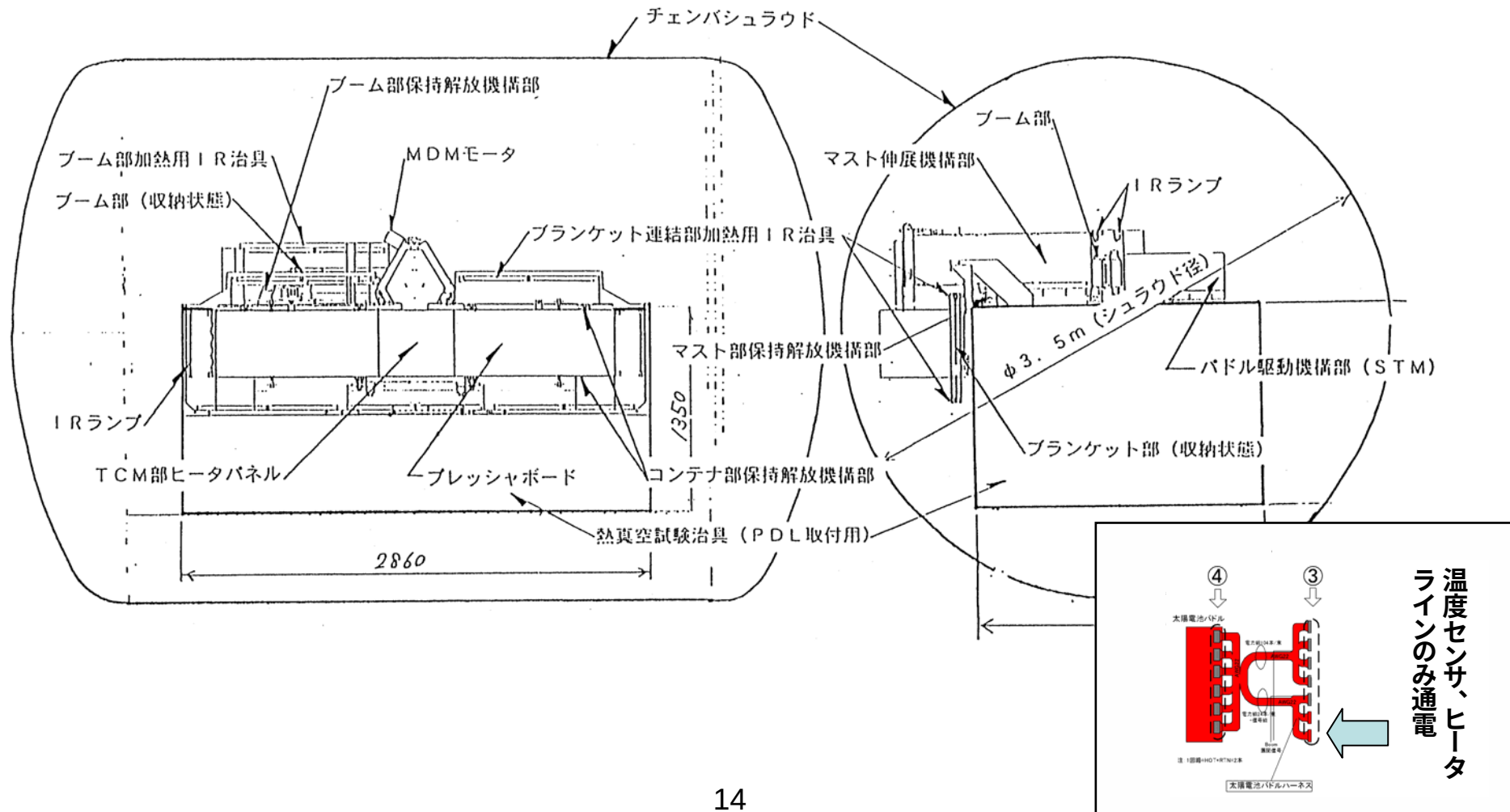
太陽電池パドルサブシステム試験(No.P8 熱真空試験)

1.目的

パドルの耐熱真空環境性を評価する。

2.試験コンフィギュレーション

- ・PADはフライトモデルを使用
- ・温度モニタ、ヒータラインのみ通電
- ・ブームは収納状態



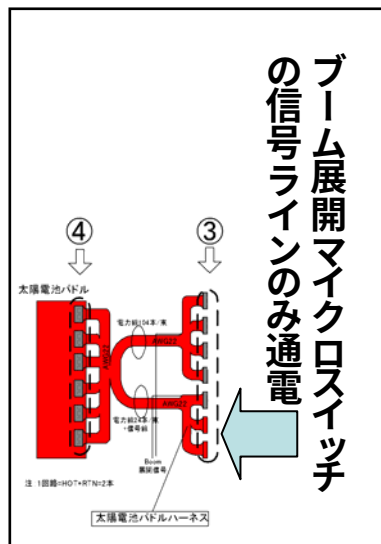
太陽電池パドルサブシステム試験 (No.P13 正弦波振動試験)

1.目的

パドルの耐振動環境性を評価する。

2.試験コンフィギュレーション

- ・PADはフライトモデルを使用
- ・温度モニタ、ヒータラインのみ通電
- ・パドル、ブームは収納状態



(動画)

衛星システム試験 (No.S3～6,8,10,12,14,16 電気性能試験)

1.目的

各バス機器および各ミッション機器の衛星システム上での電氣的動作確認、システム総合確認(打上げ時、定常観測時)を行う。初期段階、熱真空試験前、熱真空試験中(高温さらし、低温さらし)、熱真空試験後、最終段階、輸送前確認試験、射場搬入後試験1～3の9回実施。

2.試験コンフィギュレーション

(1) PAD及びPDMはエンジニアリングモデル(S3)

- ・PDMは電気モデル

(2) PAD無し(S3～6,8,12,14)

- ・PDMはフライトモデル

- ・右図③のPDM側に試験ケーブルを接続し給電

(3) PAD有り (S6,8,12,14の一部(PDL系)試験のみ)

- ・PDLは全てフライトモデル

- ・アンビリカルコネクタから給電

- ・信号ラインのみ通電

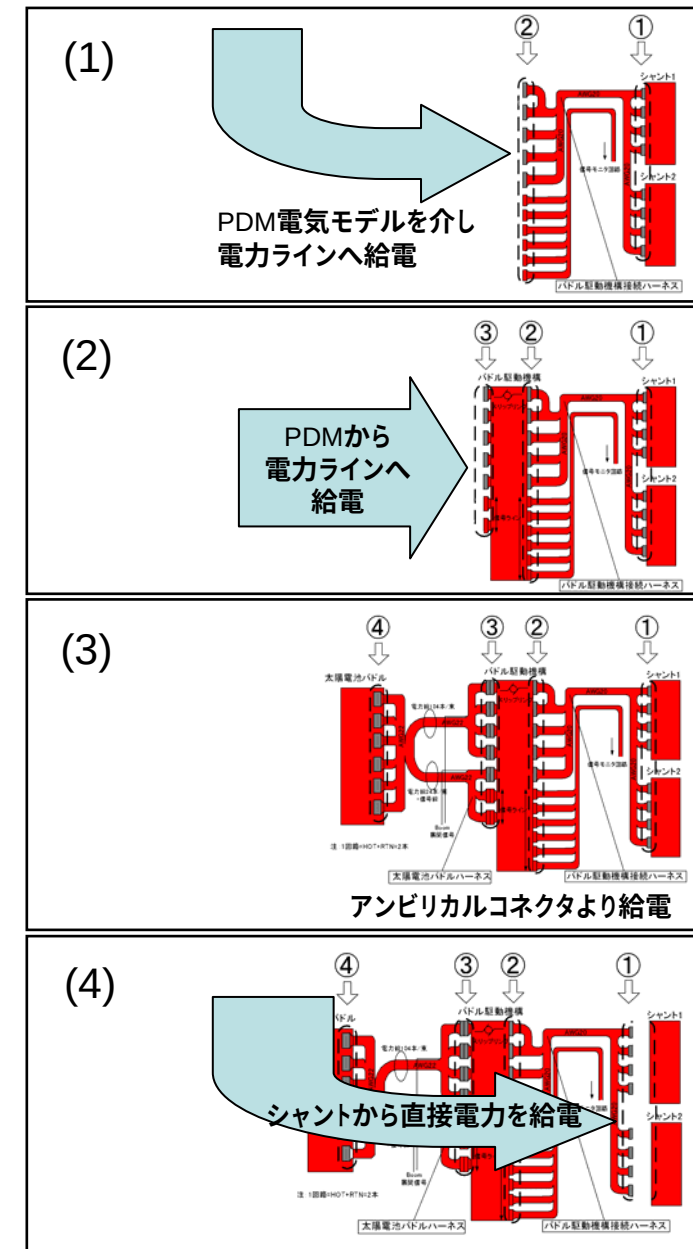
(4) PAD有り(S10,16)

- ・PDLは全てフライトモデル

- ・右図①コネクタを外しシャントに直接試験ケーブルを接続して給電

- ・右図②～④は接続状態

- ・各部信号ラインのみ通電有り



電気性能試験状況



(動画)



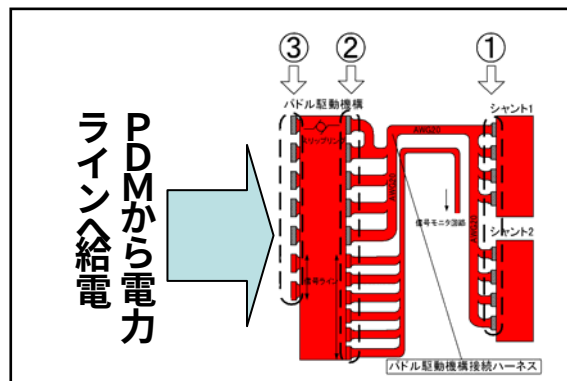
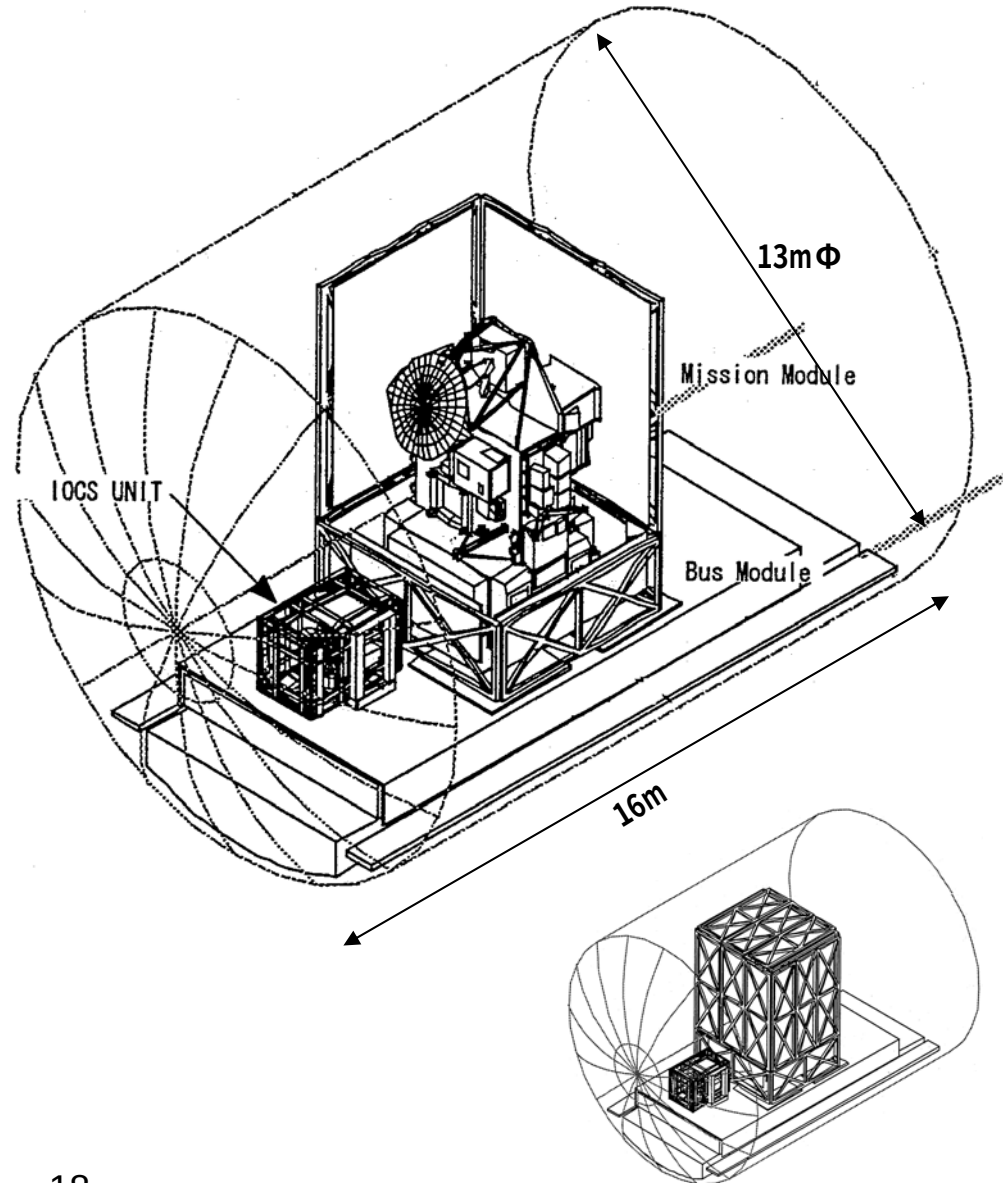
衛星システム試験(No.S5 熱真空試験)

1.目的

軌道上での環境条件を模擬した熱真空条件下で、熱制御系の機能/性能を確認する。また、より厳しい熱真空条件下で、電気性能を確認する。

2.試験コンフィギュレーション

- ・太陽電池パドル系は、取り外した状態で実施。



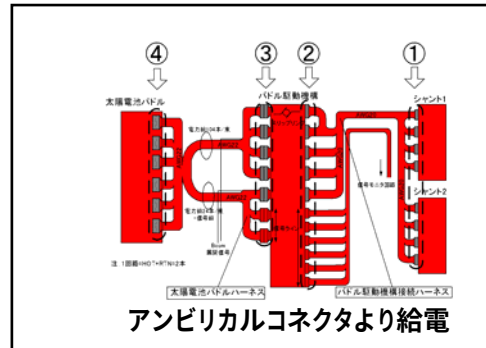
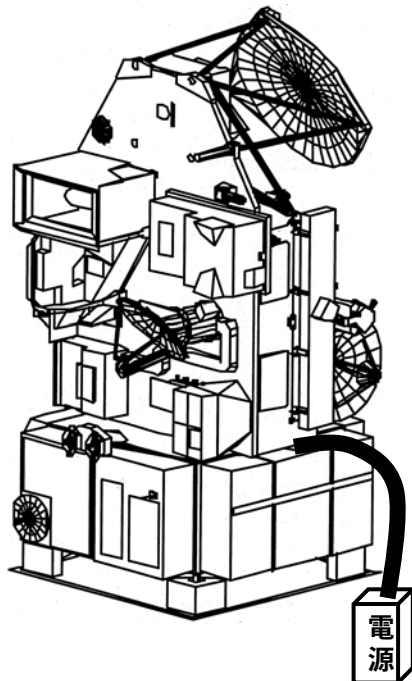
衛星システム試験(No.S7 正弦波振動試験)

1.目的

衛星が剛性基準を満足することを確認するとともに、システムの動特性を確認する。

2.試験コンフィギュレーション

- ・太陽電池パドル系を取り付けた状態で実施。



アンビリカルコネクタ
より給電し通電加振



(動画)

衛星システム試験(No.S7 PDL保持解放衝撃試験)

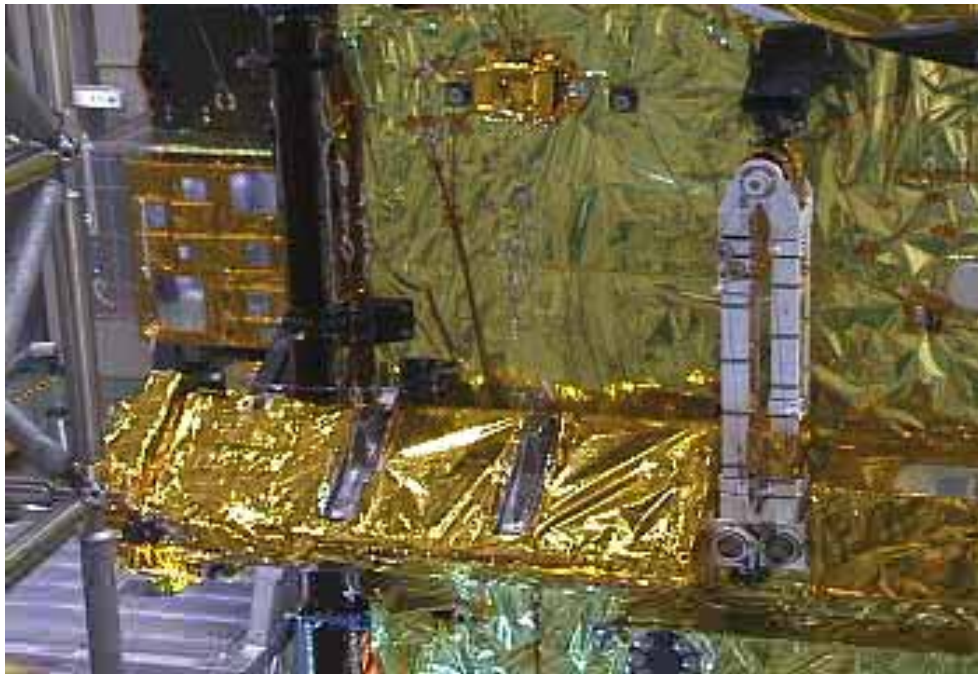
1.目的

PDLの保持が解放される時に発生する衝撃に対する耐衝撃環境性を確認する。また、保持解放部の解放が異常なく進行・完了することを確認する。

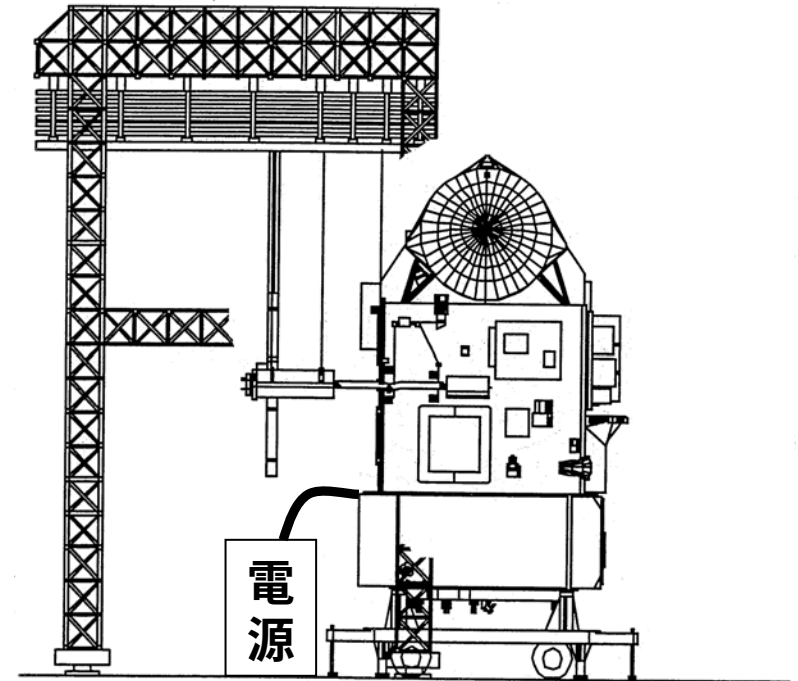
2.試験コンフィギュレーション

- ・太陽電池パドル系を、衛星システムに取り付けた状態で実施。

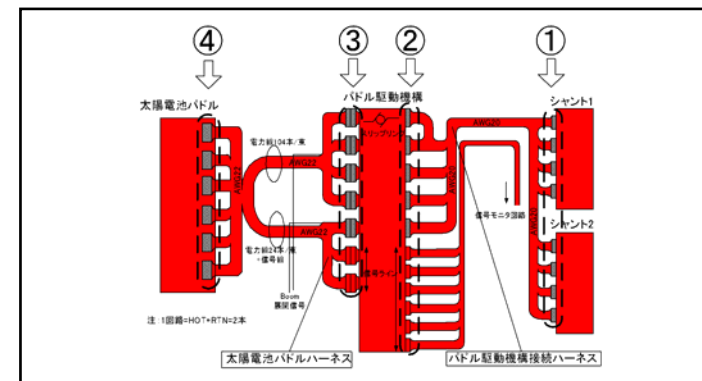
(動画)



システム搭載状態でのブーム展開及び部分パドル展開試験



アンビリアルコネクタより給電



衛星システム試験(No.S10 End to End 試験)

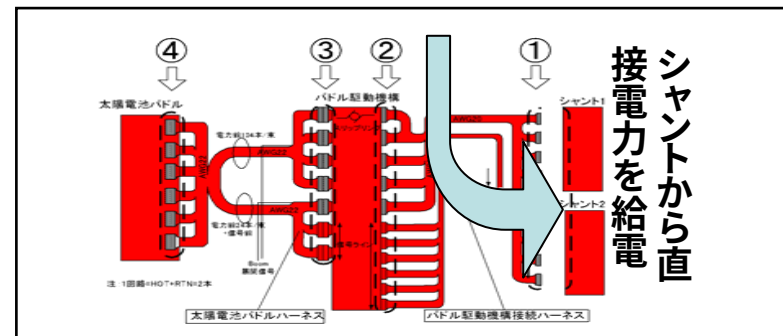
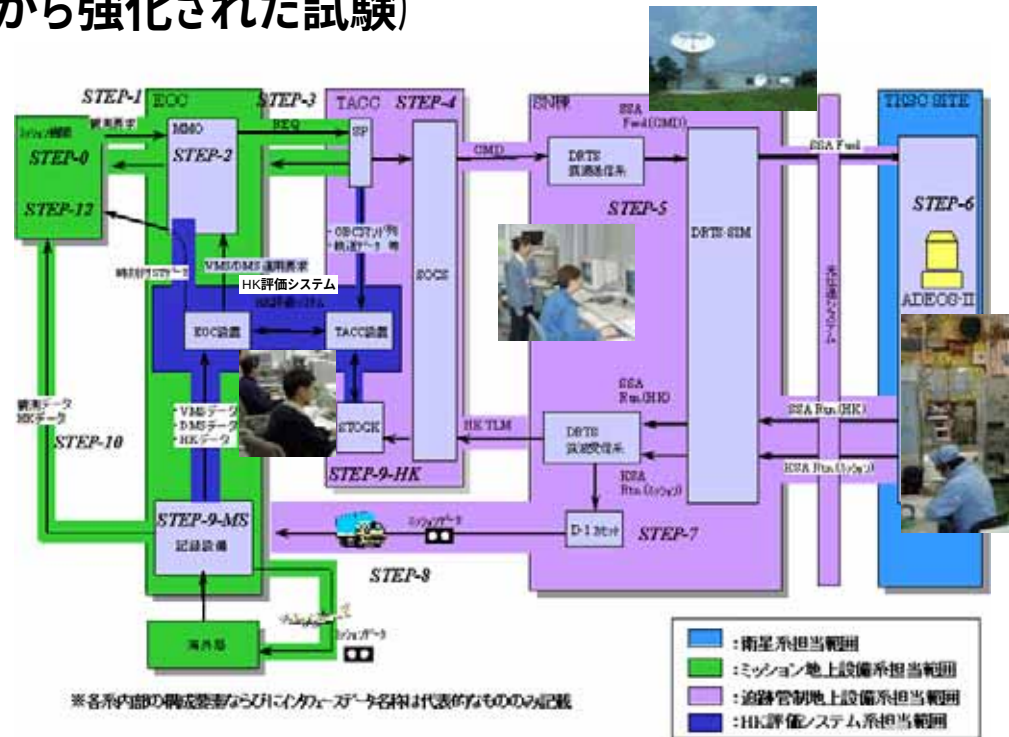
(「みどり」から強化された試験)

1. 目的

みどりIIの実運用を模擬するため、データ中継技術衛星(こだま)シミュレータ及び地上システムを使用し、観測要求から観測データ取得までの全体システムを確認する。

2. 試験コンフィギュレーション

- ・PDLは全てフライトモデルを使用
- ・右図①のコネクタを外しシャントに直接試験ケーブルを接続して給電
- ・右図②～④は接続状態
- ・各部信号ラインのみ通電有り



衛星システム試験(No.S14 パドル全回路導通確認試験)

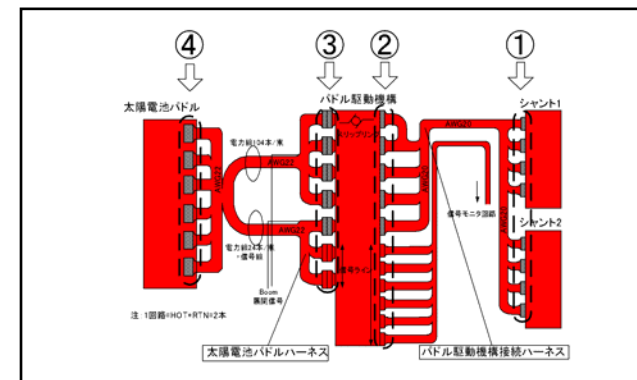
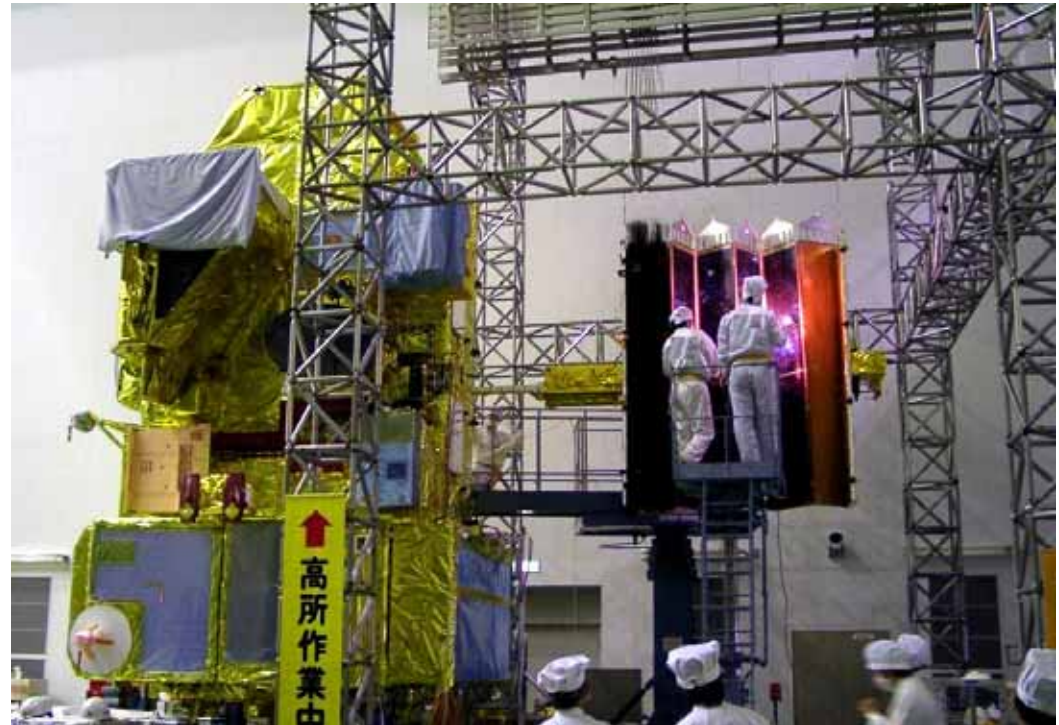
(「みどり」から強化された試験)

1. 目的

種子島においてパドルのブーム-PDM間の最終接続後に各電力回路に光をあて、導通があることを確認する。

2. 試験コンフィギュレーション

- ・PDLは全てフライトモデルを使用
- ・右図①～④は全て接続状態
- ・衛星電源オフでアンビリカルラインのバス電圧を測定



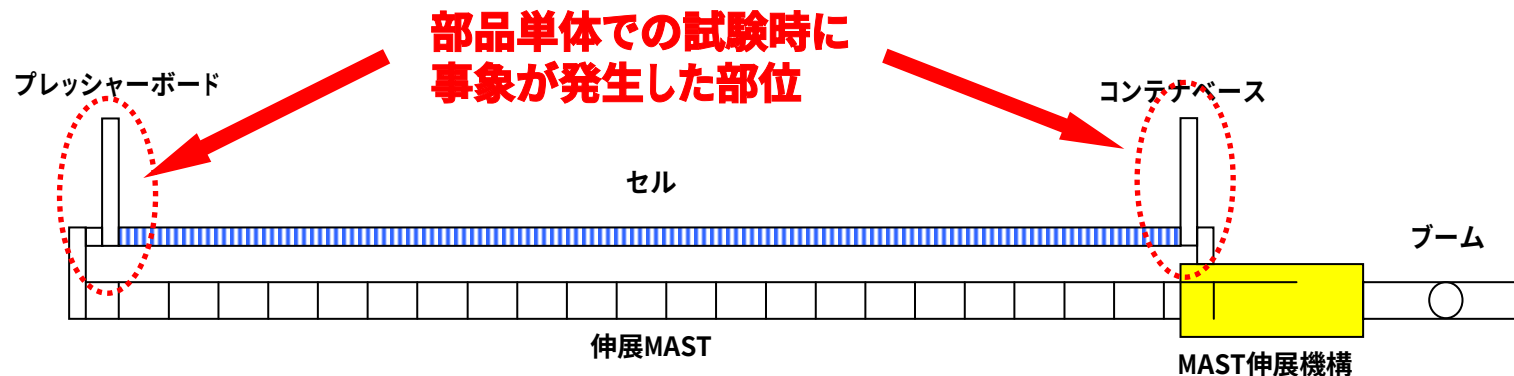
製造・試験時の太陽電池パドル系に関わる主な特記事項

番号	発生日／場所	試験工程	事 象	原 因	対 策
(1)	1999年6月9日 製造メーカ工場	コンポ単体製造・ 組立・調整	コンテナベース、プレッシャーボード のハニカムサンドイッチパネルの表 面板に膨れが発生した。	炭素繊維強化プラスチック (CFRP) が 薄くアルミが厚かったため、熱応力に より剥離した。	●表面板とハニカムコア厚さについて設計変更を行 い再製作した。
(2)	1999年8月27日 製造メーカ工場	(他プロジェクトから の反映)	同設計の保持解放機構部を持つ他 衛星の衝撃試験において、当該機構 部のスプリング部が外れた。	スプリング受け部外径とスプリングフッ ク内径が同じサイズであったため。	●スプリング受け部の外径を大きくし、外れ止めを追 加した。
(3)	1999年9月2日 製造メーカ工場	PDL 初期機能試験	絶縁測定中に張力データ測定用歪 みゲージアンプ(SGE)が破損した。	SGEを取り付けたまま絶縁測定を行っ たため定格を上回る電圧が印加され 破損した。	●フライト品としての機能性能を確認した上で、先行 プロジェクトの補用品と交換した。
(4)	1999年11月8日 製造メーカ工場	サブシステム 熱真空試験後外観 検査	ブランケットの端部が切れていた。	ブランケットの拝み部にある半田接続 部の位置ずれにより、拝み部に過剰 な応力が加わった。	●位置ずれのない状態で再度の半田付。 ●切れの先端に穴 (ストップホール) を開け、銀シー ト半田付、銅ハーネスの補強さらにカプトンテープに よる固定。 ●その他の半田接続部のずれ箇所について再度の 半田付けの実施。
(5)	1999年12月4日 製造メーカ工場	再組立後 機能試験	各ブランケットを吊り下げ治具にて吊 り下げた際、パドル先端部のブラン ケットに亀裂が発見された。	先端部はセルを実装していないため、 他のブランケットに比べ変形しやすく、 吊り下げ治具部分に過大な応力がか かった。	●亀裂の両端に穴 (ストップホール) を開け、カプトン テープで補強。 ●ダブラ部分をガラス繊維強化プラスチック (GFRP) 板で補強。 ●その後、要注視アイテムとして注意深い取り扱い と検査を実施。
(6)	2000年2月2日 筑波宇宙センター	サブシステム 正弦波振動試験	ブーム部の固有振動数が33.7Hzに なり、パドル規格の35Hz以上を下 回った。	旧版図面に基づき、ブーム部の衛星 構体との被保持金具を製作したため、 剛性が低くなった。	●被保持金具を補強し、本来の設計形状に近い形 にして剛性を高めた。補強後、再度正弦波振動 (Z 軸) 試験を実施し、70Hzとなり規格値を満足するこ とを確認した。
(7)	2000年3月25日 筑波宇宙センター	サブシステム 正弦波振動試験後 外観検査	プレッシャーボード側 (先端側) のミニ ブランケットの拝み部に切れ及び折 れが生じた。	プレッシャーボードに埋め込まれてい るパドル収納時の保持用金具とミニブ ランケット端部が干渉し、切れ及び折 れが生じた。	●ミニブランケットの金具との干渉部を切除し、干渉 を防止した。
(8)	2000年4月21日 筑波宇宙センター	システム側パドル 取り付け作業	ブーム同期ワイヤー2本のうち1本が 破断した。	本来同じ高さとするべき、ヒンジの位 置が異なり、各関節の展開角の関係 が一定に保たれず、ワイヤに過度の 張力がかかった。	●ワイヤを交換、および組み込み手順の見直しを 行った。
(9)	2002年5月21日 種子島宇宙セン ター	長期保管1後点検	電気系保守点検準備作業時にPDM ハーネスを固定していたテープを剥 がしたところ、MLI (多層断熱材) の一 部が破れてしまった。	テープでの固定位置が直視しにくい高 い位置にあったため、MLIの状態及び テープ粘着力を確認せずテープを剥が してしまったため。	●MLI最外層のみの破れであり、且つ、空気抜け 穴、テープ固定部で破れが止まっており進展する可 能性が低いため、通常MLI固定時に使用しているアル ミ蒸着テープを用い補修処置を行った。
(10)	2002年6月10日 種子島宇宙セン ター	射場搬入後試験3	保持解放機構ワイヤ張力設定時に 一個のターンバックルが噛み込みが 生じた (取り外しを試みたところ破断 した。)	当該ターンバックルの調整しろが足ら ず、めねじのない奥まで無理に締めこ んだため、小片が生じ噛み込んだ。	●再製作したターンバックルにより最終取り付けをお こなった。

製造・試験時の太陽電池パドル系に関わる特記事項(1)

コンテナベース／プレッシャーボード表面板の剥がれ

- 事象：コンテナベース、プレッシャーボード単体での熱真空試験（設計予測値－63℃～70℃、試験計画－78℃～85℃、試験実績－105.9℃～90.6℃）でハニカムサンドイッチパネルの表面板に膨れが発生した。炭素繊維の表面板とハニカムコアの接着部分が剥がれ膨れ上がった。
（1999年6月9日 製造メーカ工場にて発生）



●原因：CFRP（炭素繊維強化プラスチック）が薄くアルミが厚かったため、その間に働く熱応力により剥離したため。

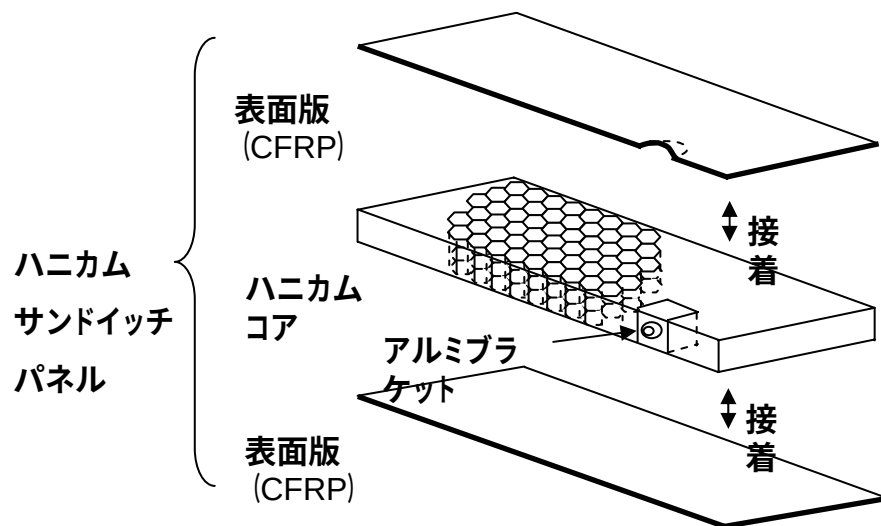
●対策：解析及び部品部材試験により効果を確認した上で、以下の対策を施し、再製作を実施した。

①表面板（CFRP）とアルミブラケットの間の接着剤の厚さを3倍にした。

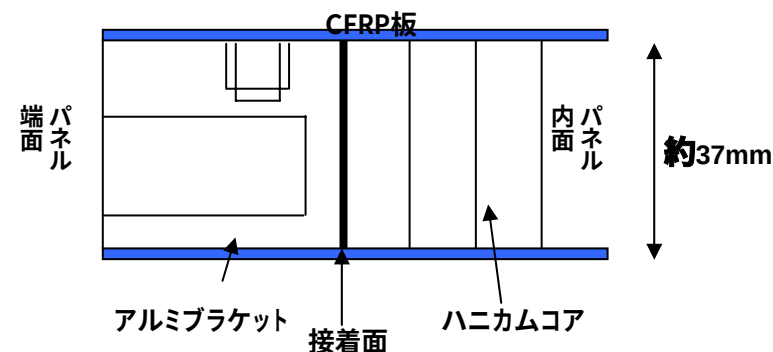
②アルミブラケットと接着する部分の表面板を厚くした。

③アルミブラケットを薄くした。

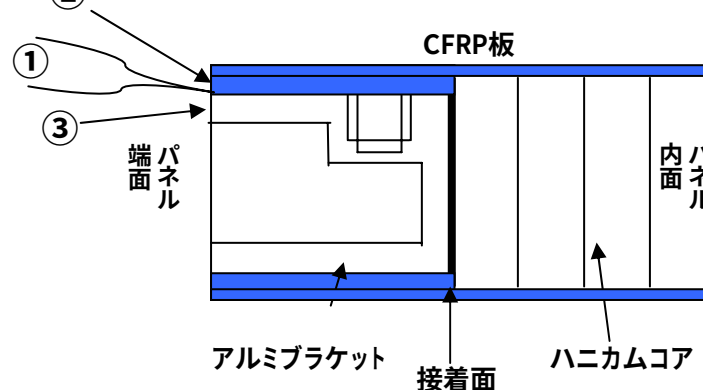
その後、熱真空試験により問題の無いことを確認した。



断面図 (対策前)



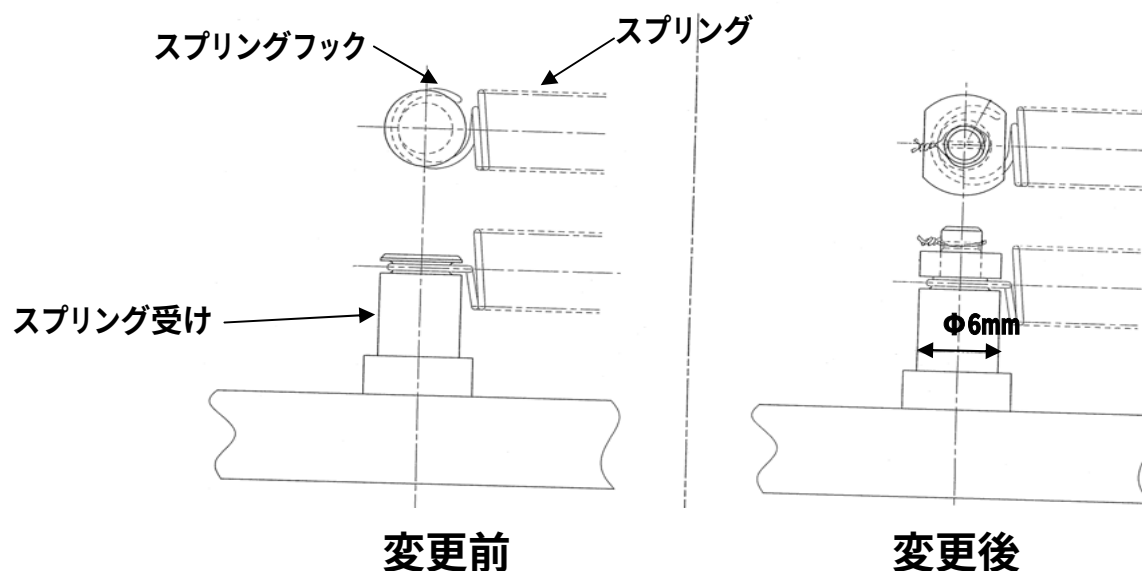
断面図 (対策後)



製造・試験時の太陽電池パドル系に関わる特記事項(2)

保持解放機構の改修

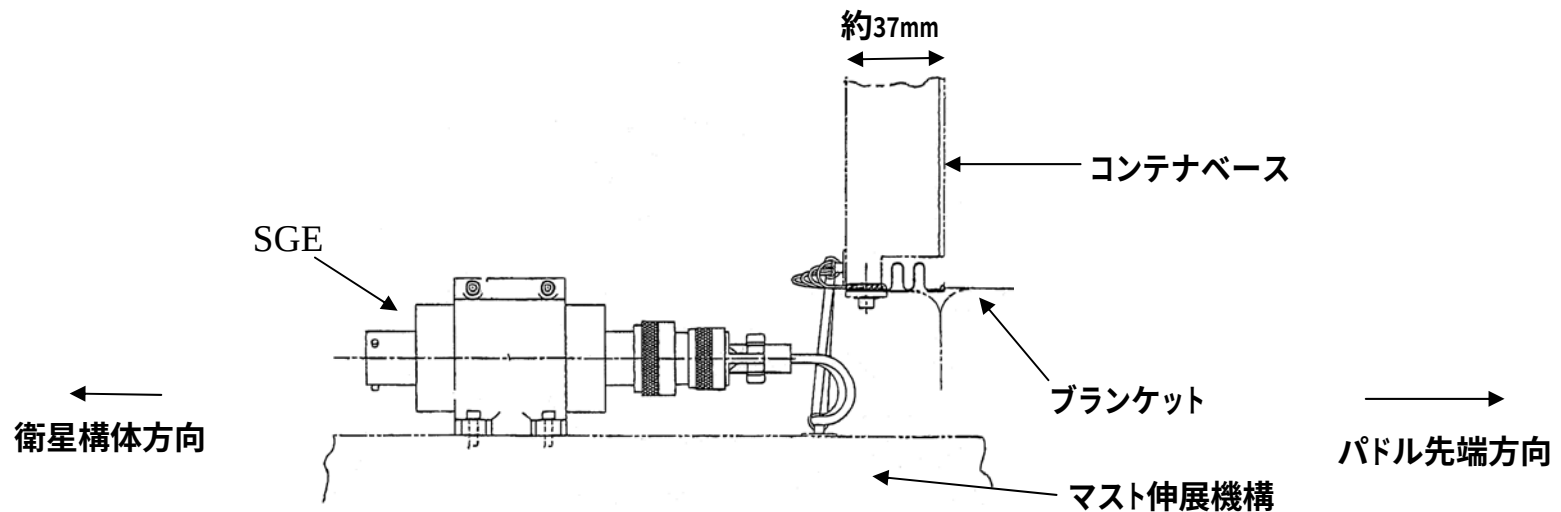
- 事象：みどりIIと同一の保持解放機構部を持つ他衛星での保持解放衝撃試験において、当該機構部のスプリング部が外れた。(1999年8月27日製造メーカー工場にて発生)
- 原因：スプリング受け部外径とスプリングフック内径が同じサイズであったため。
- 対策：スプリング受け部の外径を大きくし、外れ止めを追加した。



製造・試験時の太陽電池パドル系に関わる特記事項(3)

張力データ測定用歪みゲージアンプ(SGE)の破損

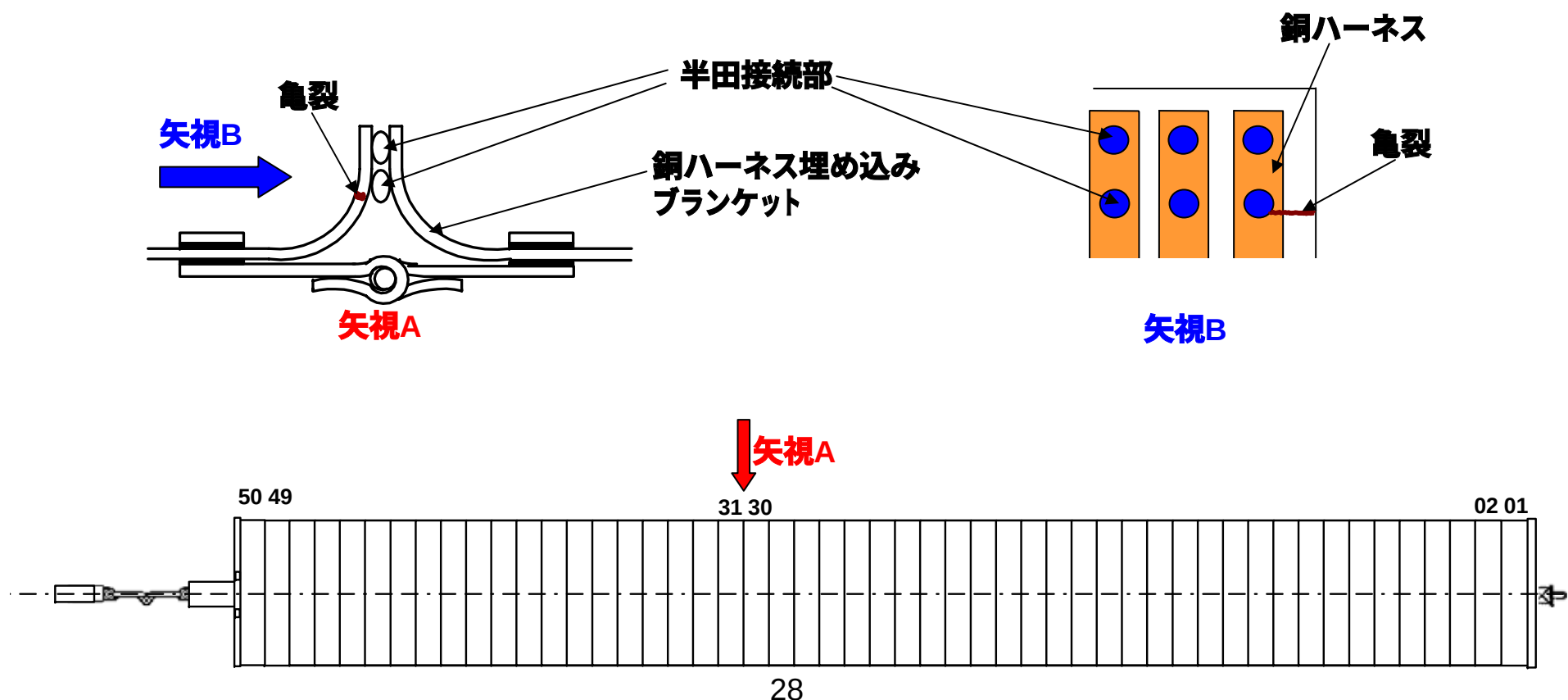
- 事象：パドル製造組立時のPADハーネス接続確認作業における絶縁耐圧試験中にSGEが破損した。(1999年9月2日製造メーカー工場にて発生)
- 原因：SGEを取り付けたままPADハーネス絶縁耐圧試験を実施したため、SGEに定格を上回る電圧が印加され破損した。
- 対策：フライト品としての機能性能を確認した上で、先行プロジェクトの補用品であるSGEと交換した。



製造・試験時の太陽電池パドル系に関する特記事項(4)

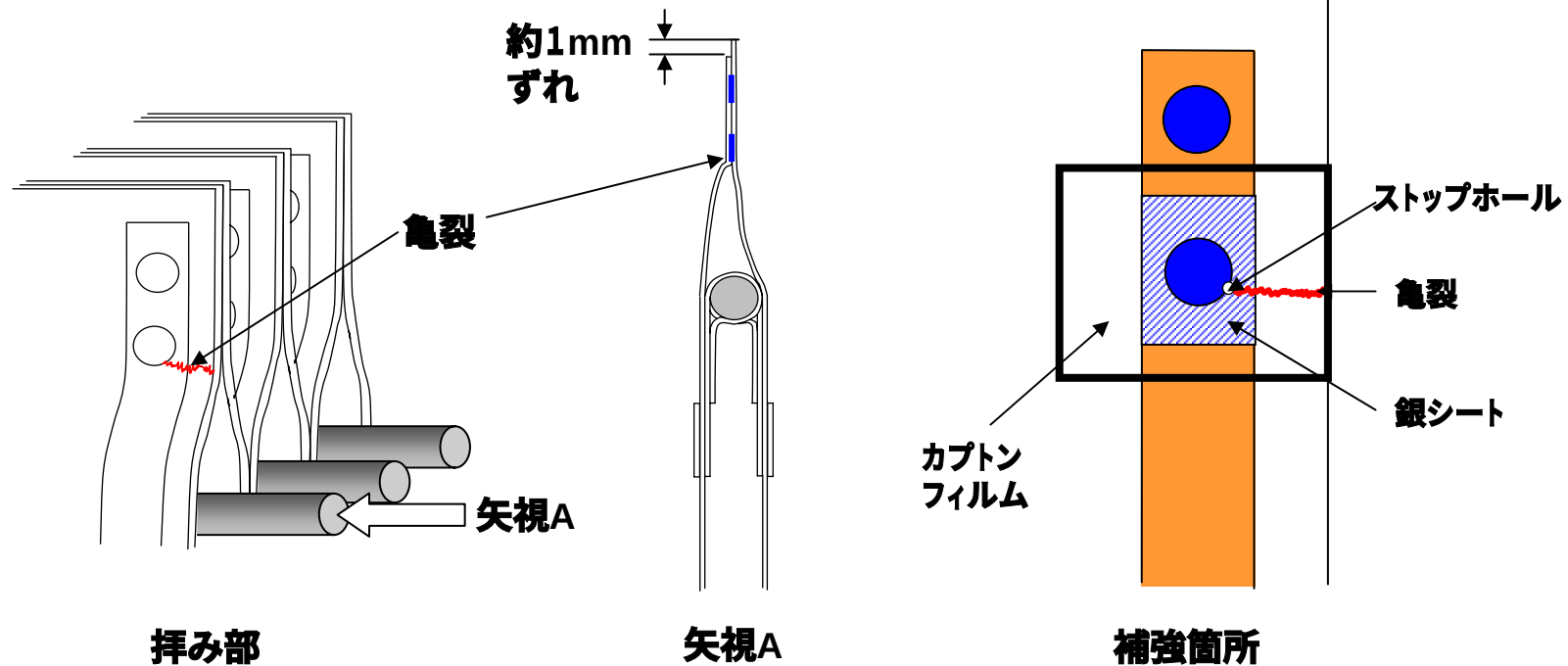
熱真空試験後のブランケット拌み部の亀裂発生

- 事象：パドル熱真空試験後、外観の検査でブランケット拌み部に亀裂が生じていることが判明。（1999年11月8日 製造メーカ工場にて発生）
- 原因：ブランケットの拌み部にある半田接続部の位置ずれにより、拌み部に過剰な応力が加わったことが主要因。さらにその状態で熱真空試験を行ったことにより熱応力がさらに加わり、亀裂が発生。



●対策:

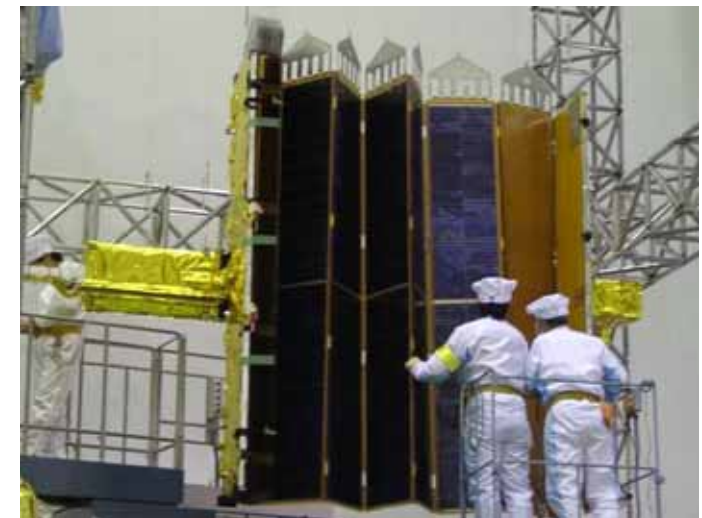
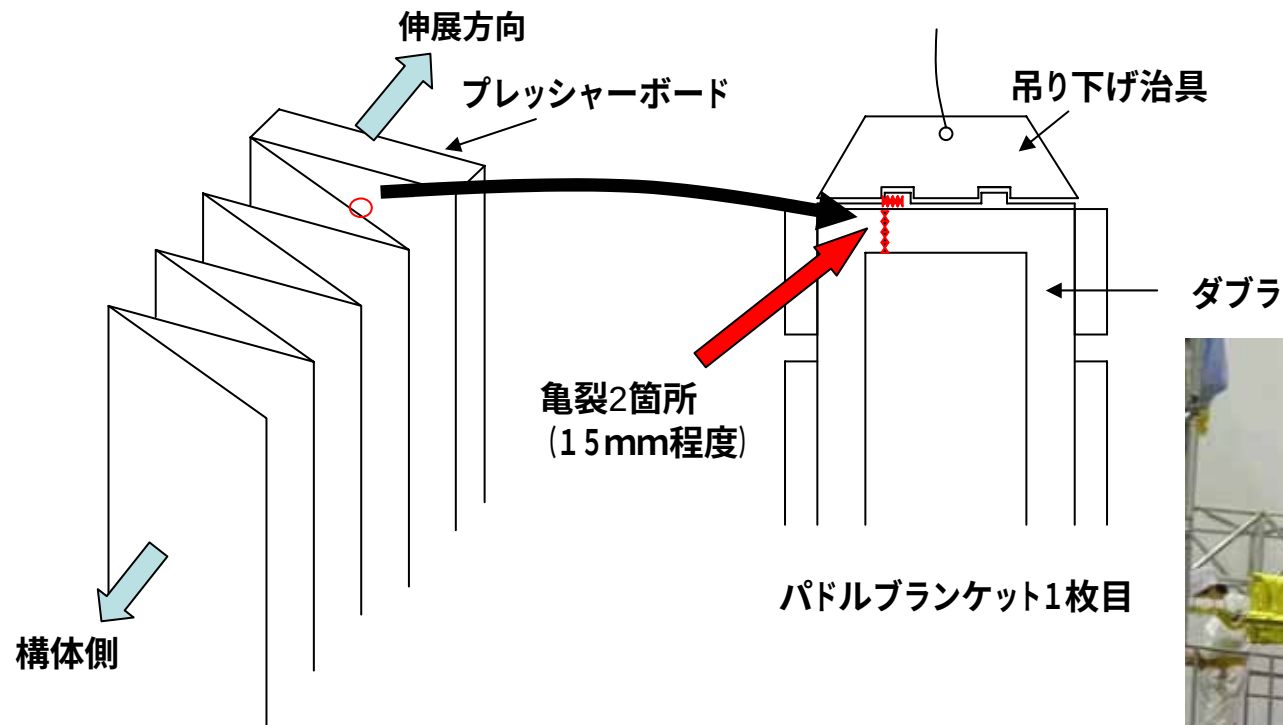
- ①位置ずれを生じていた半田接続部分を再度位置ずれのない状態で半田付けを実施。
- ②切れた箇所先端にそれ以上亀裂が進まないように穴 (ストップホール) を開け、銀シートを半田付けして、銅ハーネスを補強。
- ③さらにその上からカプトンテープを張って切れた部分を固定。
- ④異常の見られなかったその他の半田接続部についても再検査を実施し、僅かな位置ずれを生じている箇所 (7箇所) について再度、半田付けを実施。



製造・試験時の太陽電池パドル系に関わる特記事項(5)

パドル組立中におけるブランケットの亀裂発生

- 事象：パドル全体の組立て工程中にパドル先端部の1枚目のブランケット（太陽電池セルを実装していないブランケット）に亀裂を発見。（1999年12月4日製造メーカ工場にて発生）

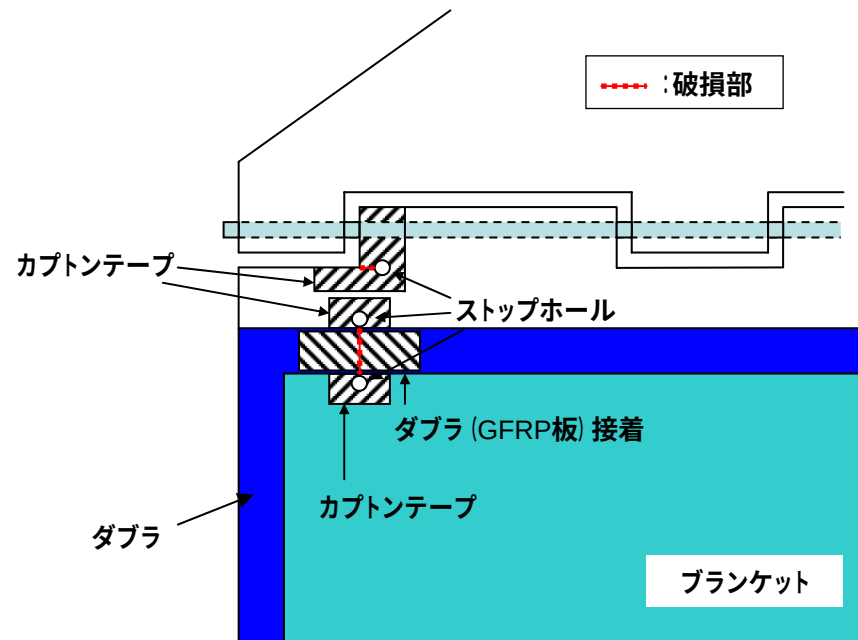


●原因：各ブランケットを治具にて吊り下げた際、先端部はセルを実装していないため、他のブランケットに比べ変形しやすく、吊り下げ治具部分に応力がかかり、ダブラの継ぎ目および吊り下げ部に亀裂が生じた。

●対策：

- ①亀裂の両端にそれ以上亀裂が進行しないように穴（ストップホール）を開け、カプトンテープを貼り付けて補強。
- ②ダブラ部分に、GFRP（ガラス繊維強化プラスチック）板を接着し補強。
- ③太陽電池セルの実装されていない先端部（1枚目）および根元部（50枚目）のブランケットについて、要注視アイテムとして注意深い取り扱いを強化。

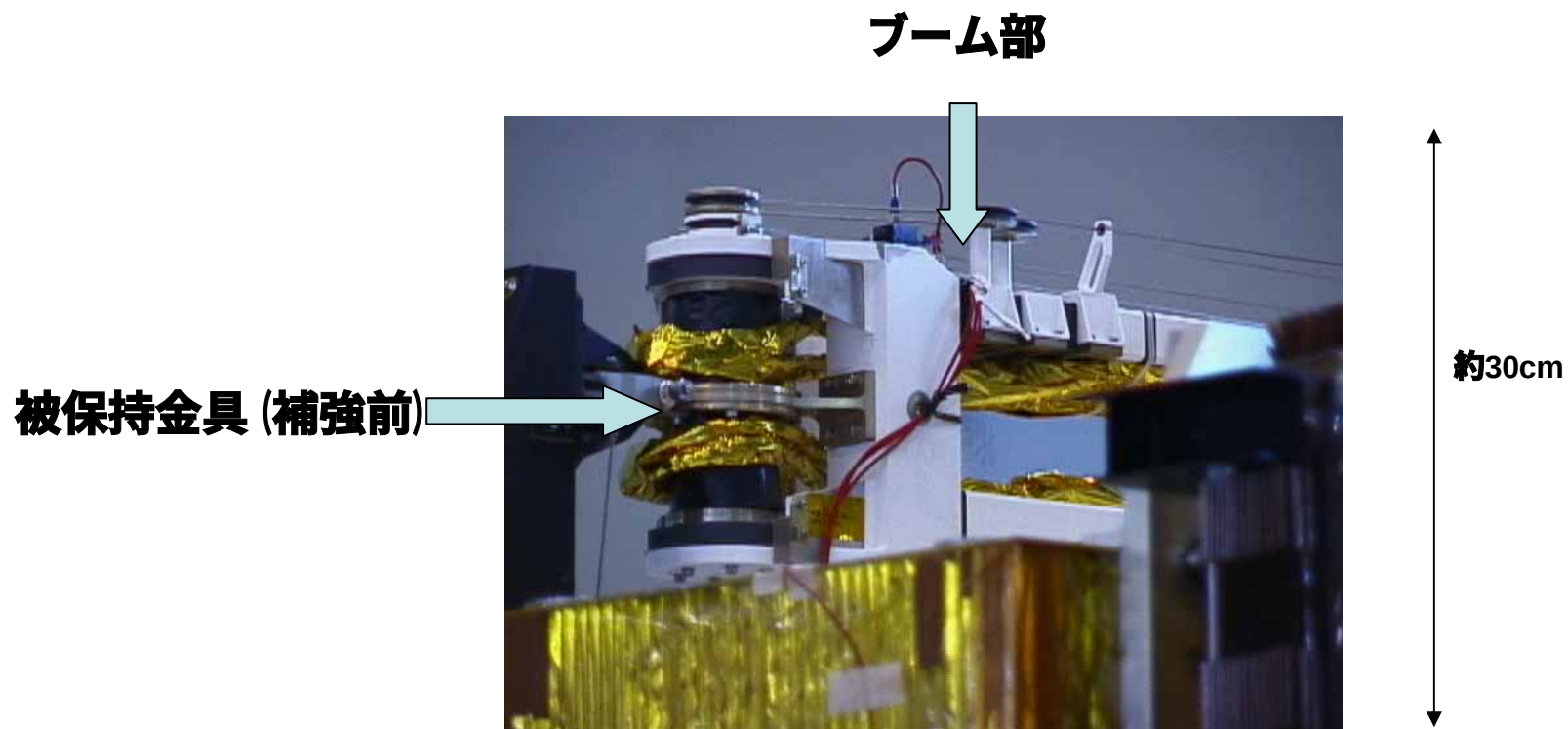
最終的に全てのブランケットに亀裂が無いことを確認し、打上げに臨んだ。



製造・試験時の太陽電池パドル系に関わる特記事項(6)

パドルブーム部の固有振動数の規格外れ

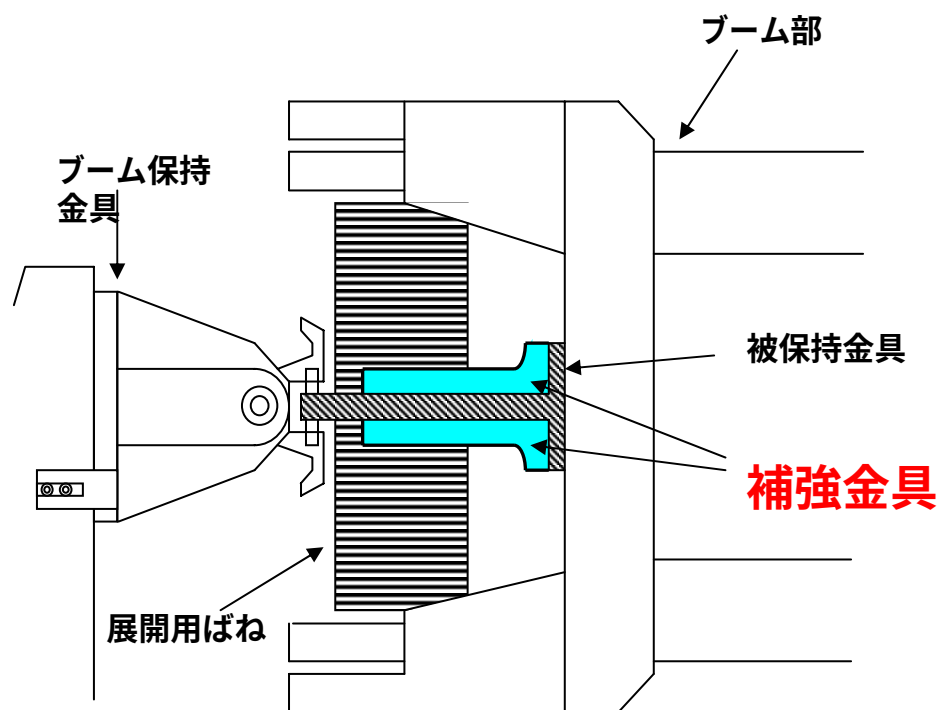
- 事象：太陽電池パドルの正弦波振動（Z軸）試験において、ブーム部の固有振動数が33.7Hzになり、規格の35Hz以上を下回った。（2000年2月2日筑波宇宙センターにて発生）
- 原因：ブーム部の製作において、ブーム部の衛星構体との被保持金具を旧版図面に基づき製造したため、剛性が低くなり、固有振動数が規格を下回った。



●対策：

正規部品との交換と被保持金具の補強をトレードオフした結果、正規部品との交換は複雑な機構部の分解再組立が必要となり二次災害の可能性があることが判明した。一方、被保持金具の補強作業は複雑な作業がなく、且つ、正規部品実装よりも強度余裕が大きいいため、被保持金具の補強を採用した。

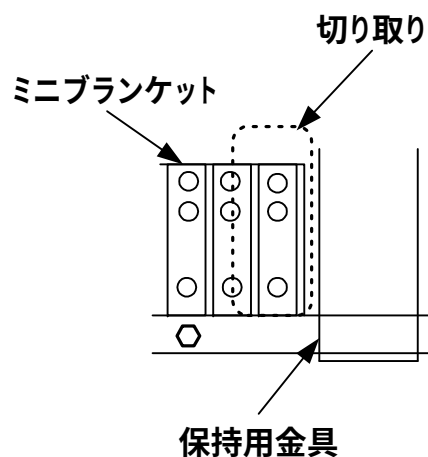
補強後、再度正弦波振動（Z軸）試験を実施し、70Hzとなり規格値を満足することを確認した。



製造・試験時の太陽電池パドル系に関する特記事項(7)

正弦波振動試験後のミニブランケットの拝み部における亀裂等の発生

- 事象: 太陽電池パドルの正弦波振動試験後の外観検査において、プレッシャーボード側 (先端側) のミニブランケット (プレッシャーボードと1枚目をつなぐブランケット) の拝み部に亀裂及び折れ目が発生。(2000年3月25日 筑波宇宙センターにて発生)
- 原因: プレッシャーボードに埋め込まれているパドル収納時の保持用金具の取付部とミニブランケット端部が干渉し、亀裂及び折れ目が生じた。
- 対策: 干渉部は強度を必要としない部位であるため、ミニブランケットの保持用金具の取付部との干渉部を切除し、干渉を防止した。



亀裂及び折れ目
(隣接する銅ハーネスは
全てダミーである)

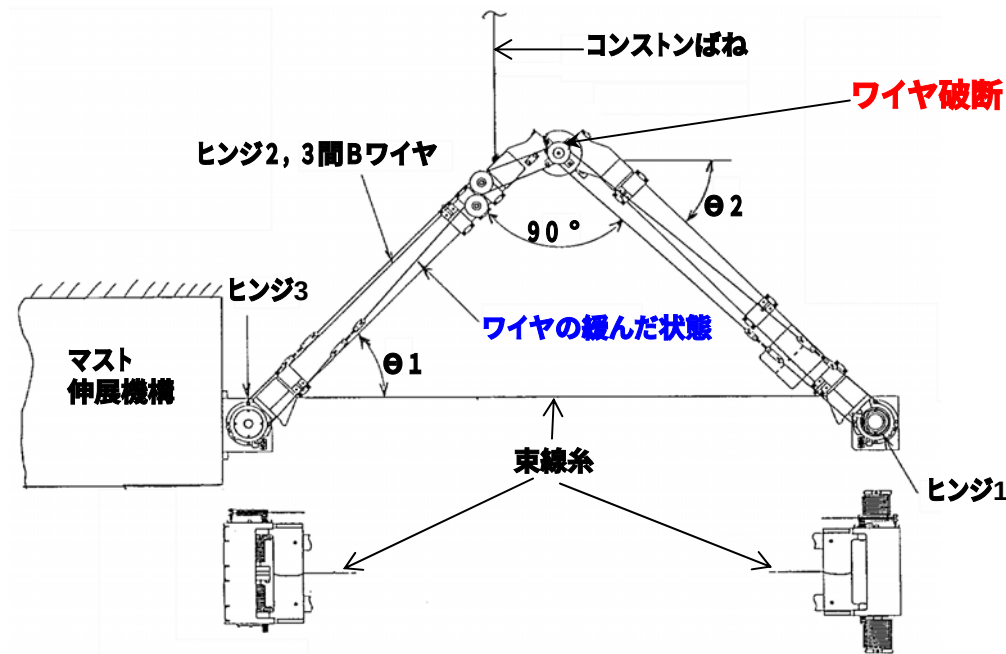
製造・試験時の太陽電池パドル系に関わる特記事項(8)

ブーム同期ワイヤの破断

- 事象：パドルのシステム組み込み準備作業時に、ブーム同期ワイヤ*2本のうち1本が破断。(2000年4月21日 筑波宇宙センターにて発生)

*)ブーム同期ワイヤ：ブーム展開時に、太陽電池パドルが衛星構体と衝突することのないように、太陽電池パドルを衛星構体に対して垂直に伸展させるための機構。ブーム部の各関節の展開角の関係を一定にすることで実現する。

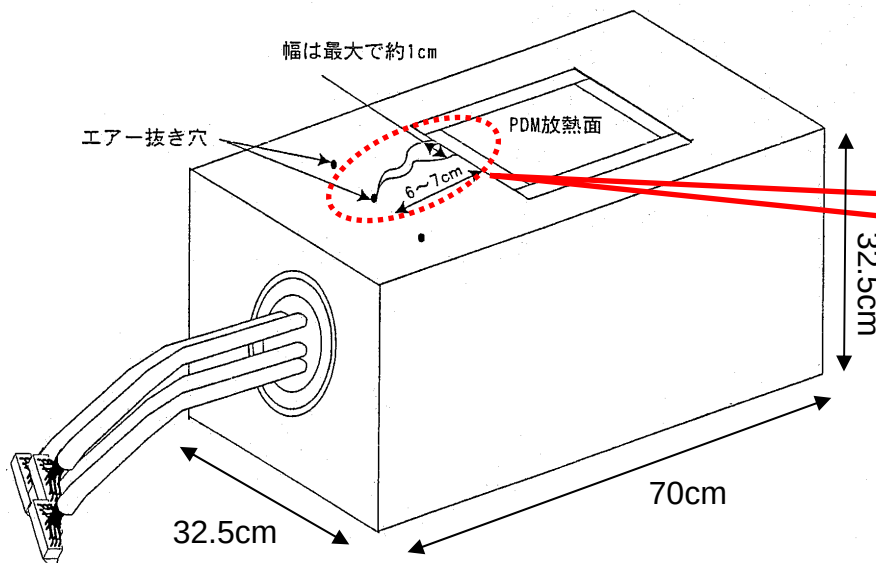
- 原因：作業時に、本来同じ高さとするべき、ヒンジ1とヒンジ3の位置が異なってしまったため、各関節の展開角の関係が一定に保たれず、2本のうち1本のワイヤに過度の張力がかかり、ワイヤが破断した。
- 対策：①2本のワイヤを交換 ②取扱説明書および組立手順書の改訂



製造・試験時の太陽電池パドル系に関する特記事項(9)

パドル駆動機構部の多層断熱材 (MLI) の破れ

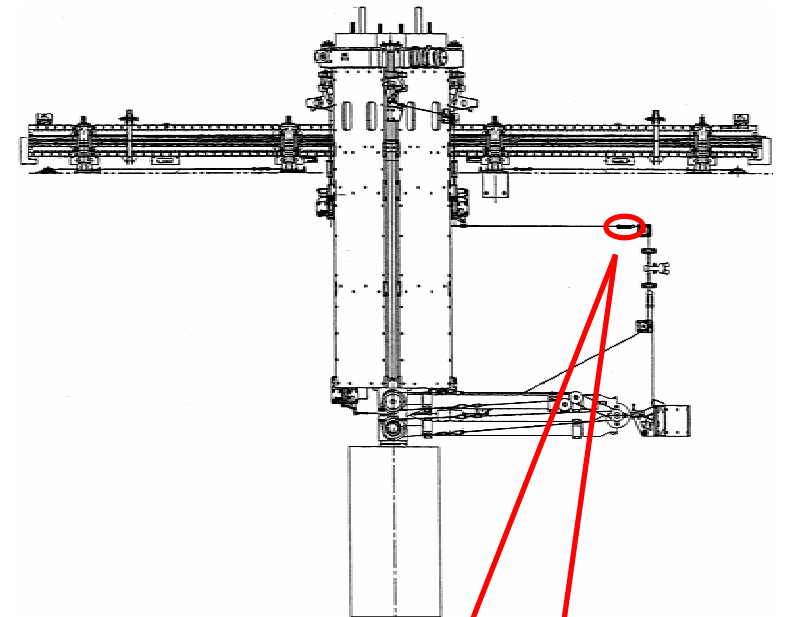
- 事象：電気系保守点検準備作業時にPDMハーネスを固定していたテープを剥がしたところ、多層断熱材(MLI)の一部が破れてしまった。
(2002年5月21日 種子島宇宙センターにて発生)
- 原因：テープでの固定位置が直視しにくい高い位置にあったため、MLIの状態及びテープ粘着力を確認せずテープを剥がしてしまったため。
- 対策：MLI最外層のみの破れであり、且つ、空気抜け穴、テープ固定部で破れが止まっており進展する可能性が低いため、通常MLI固定時に使用しているアルミ蒸着テープを用い補修処置を行った。



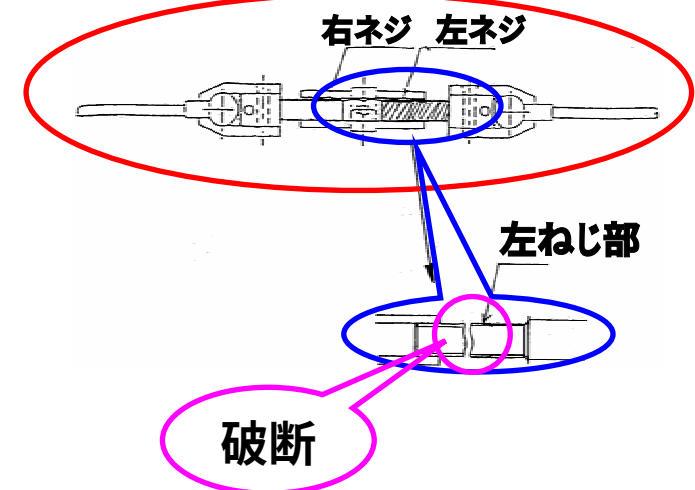
製造・試験時の太陽電池パドル系に関わる特記事項(10)

ターンバックルの噛み込み

- 事象：パドル最終取り付け作業の保持解放機構ワイヤ張力設定時に一個のターンバックルに噛み込みが生じた（取り外しを試みたところ破断した）。
（2002年6月10日種子島宇宙センターにて発生）
- 原因：当該ターンバックルの調整しろが不足、めねじのない奥まで無理に締めこんだため、小片が生じ噛み込んだ。
- 対策：再製作したターンバックルにより最終取り付けを行った。



ターンバックル組立



(参考) ハーネスのコネクタ接続箇所

コネクタ接続箇所①～④

