

# 宇宙用機構系部品について

## 第三回 九州宇宙環境技術交流会

Forum for Spacecraft Environment Engineering in Kyushu (SEEK)

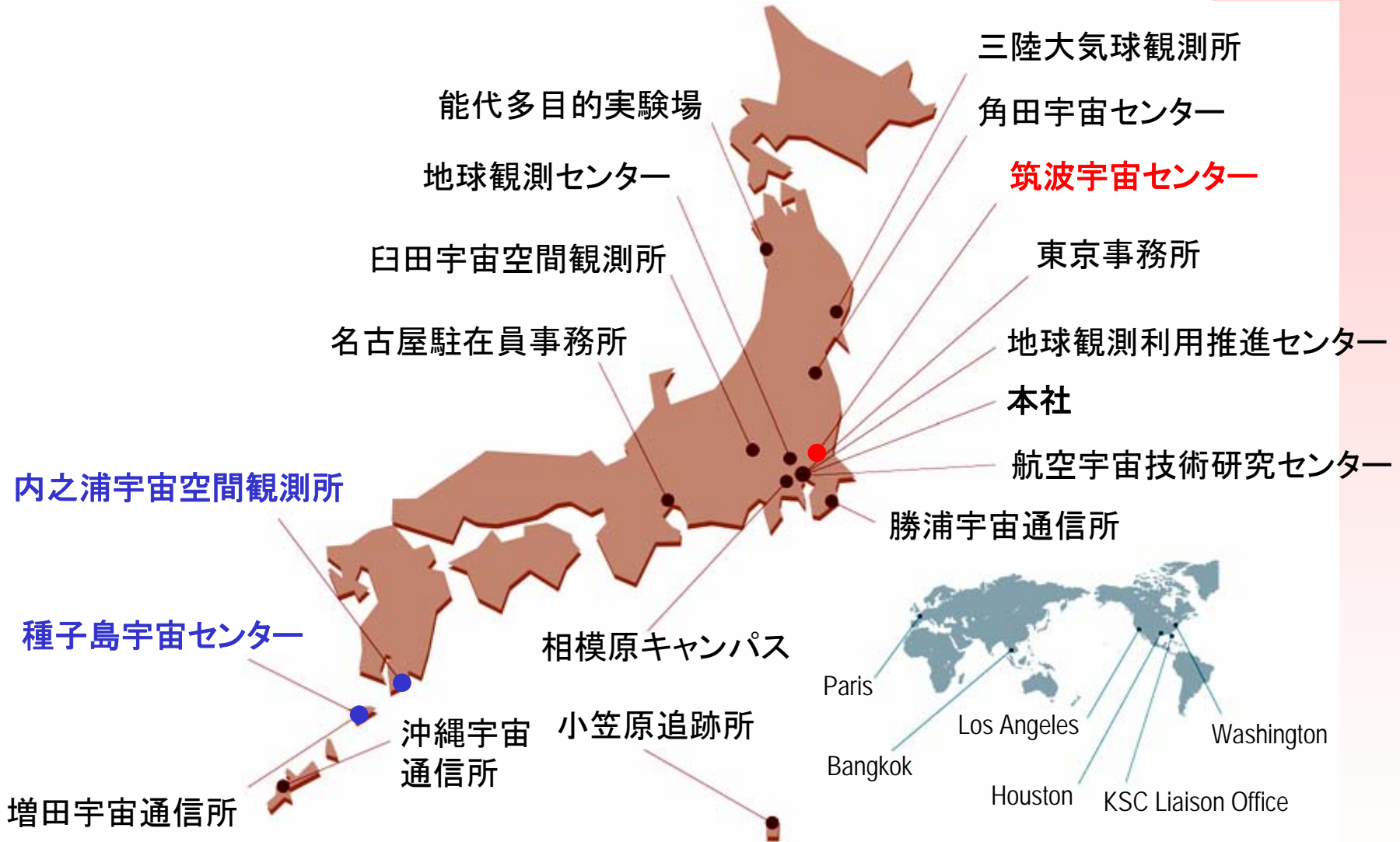
平成18年 10月 6日 (金)

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構  
総合技術研究本部 部品・材料・機構技術グループ  
田中 康夫

## JAXAの沿革

- **独立行政法人 宇宙航空研究開発機構**  
Japan Aerospace eXploration Agency (JAXA)
- **2003年10月1日、3つの宇宙機関を統合して設立**  
宇宙科学研究所 (ISAS、1955年設立)  
航空宇宙技術研究所 (NAL、1953年設立)  
宇宙開発事業団 (NASDA、1969年設立)
- **現在の職員数 1645名 (2005年度)**
- **年間予算 約2,253億円 (2005年度)**

# JAXAの研究・開発施設、事務所 等



# 日本のロケット



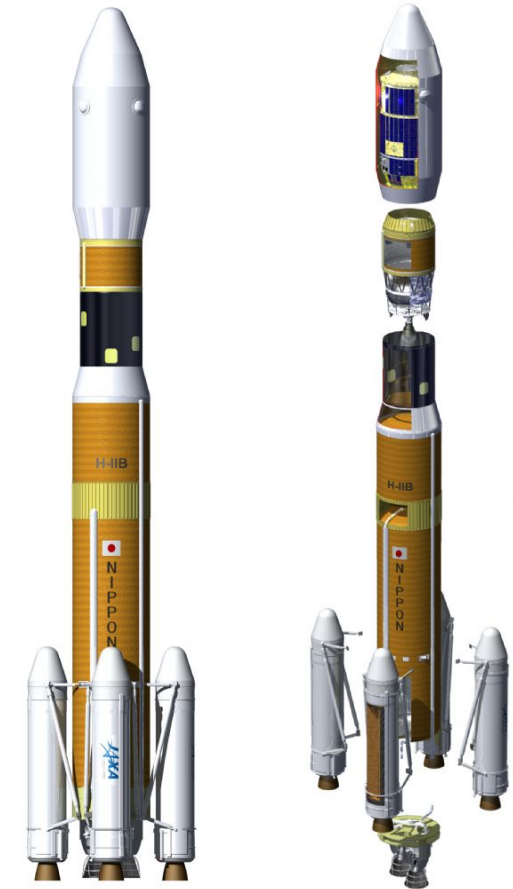
H-II A (2001~)

寸法 : 53m<sup>H</sup> × 4m<sup>φ</sup>  
 打上能力 : 4トン (静止)  
               10トン (低軌道)  
 段数 : 2



M-V (1997~2006)

寸法 : 31m<sup>H</sup> × 2.5m<sup>φ</sup>  
 打上能力 : 1.8トン (低軌道)  
 段数 : 3

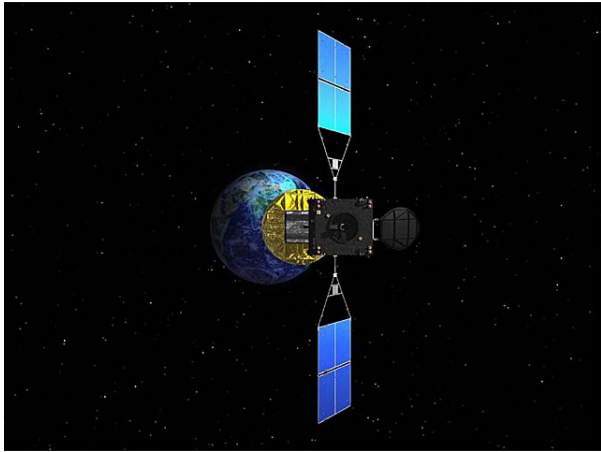


H-II B (開発中)

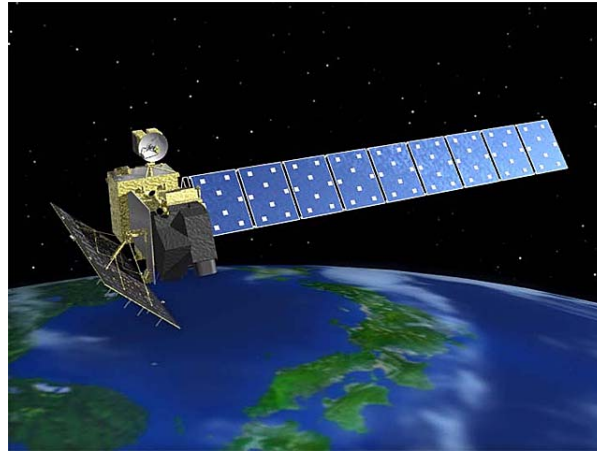
寸法 : 56m<sup>H</sup> × 5.2m<sup>φ</sup>  
 打上能力 : 8トン (静止)  
               16.5トン (低軌道)  
 段数 : 2



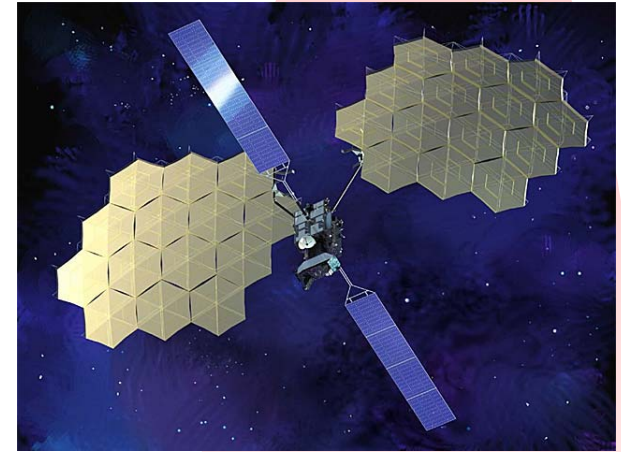
# 日本の人工衛星、月探査機 及び 宇宙ステーションへの輸送機



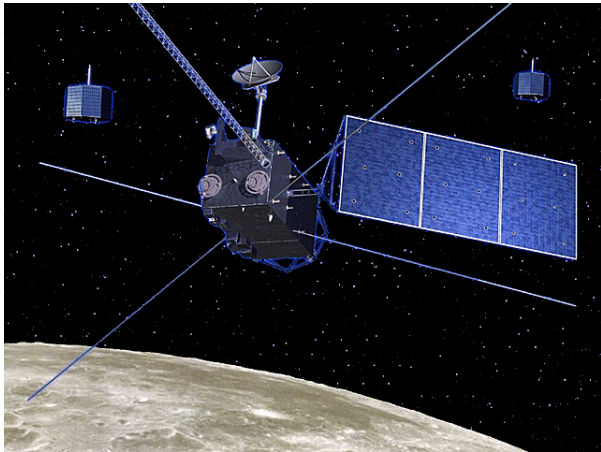
こだま (DRTS、2002～)  
通信試験衛星



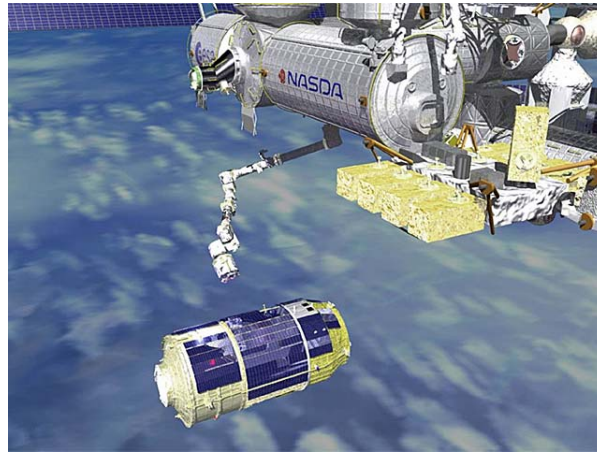
だいち (ALOS、2005～)  
地球観測衛星



技術試験衛星Ⅷ型  
通信試験衛星

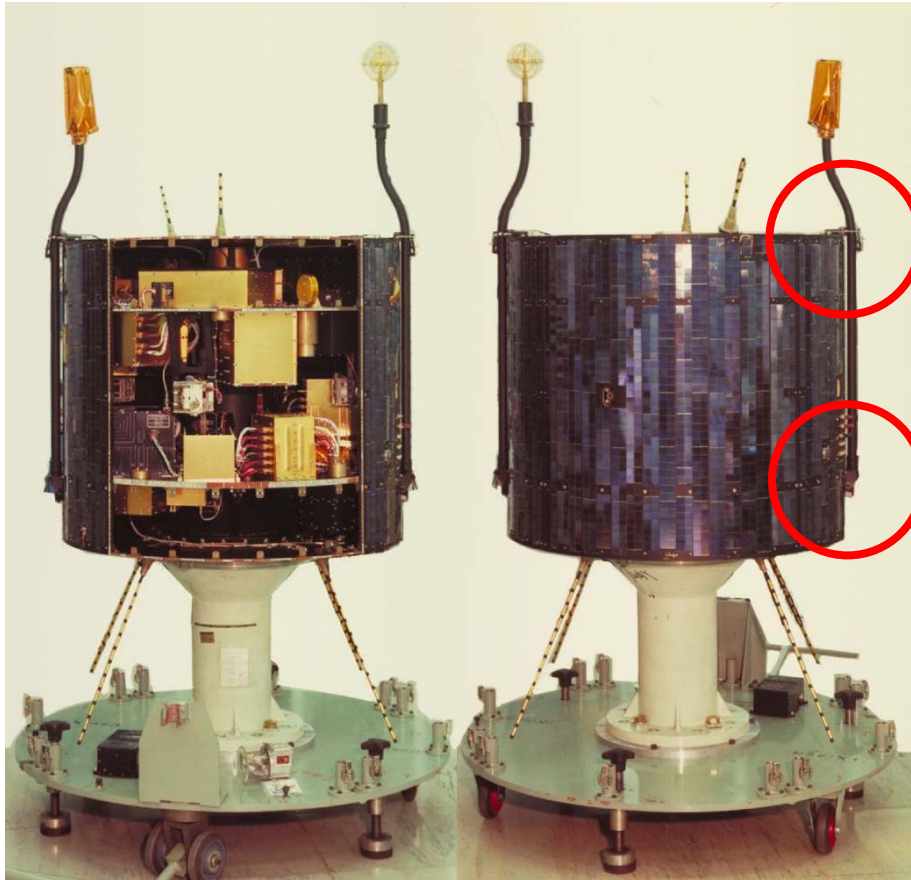


セレーネ  
月探査機

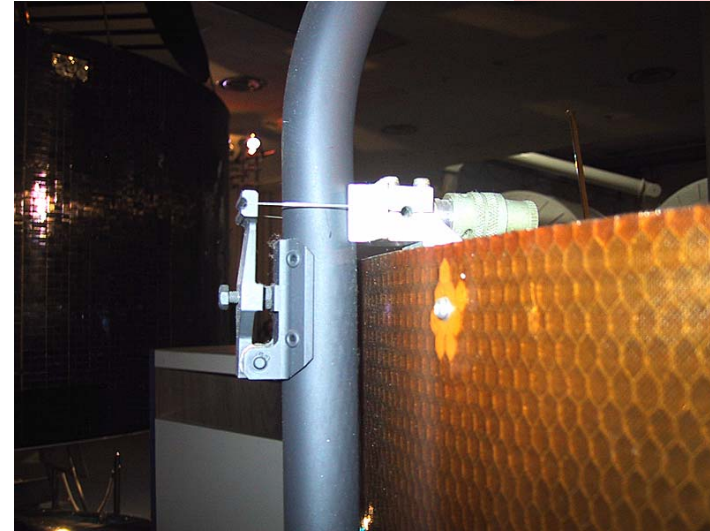


きぼうモジュールと  
HTV(輸送機)

# 人工衛星に使用される機構 及び 機構系部品

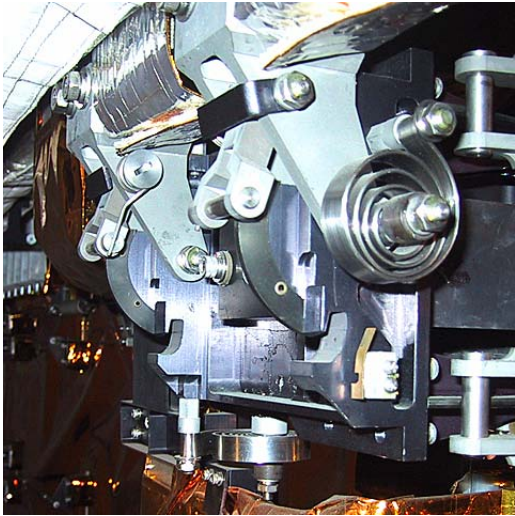


名称 : うめ2号 (ISS-b)  
打上げ : 1978年 2月  
寸法 : 0.94m $\phi$  × 0.82m $^H$   
重量 : 約141kg

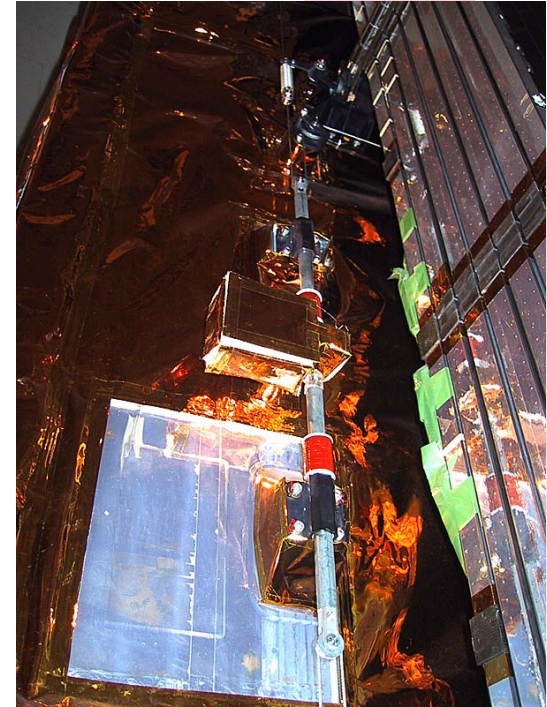




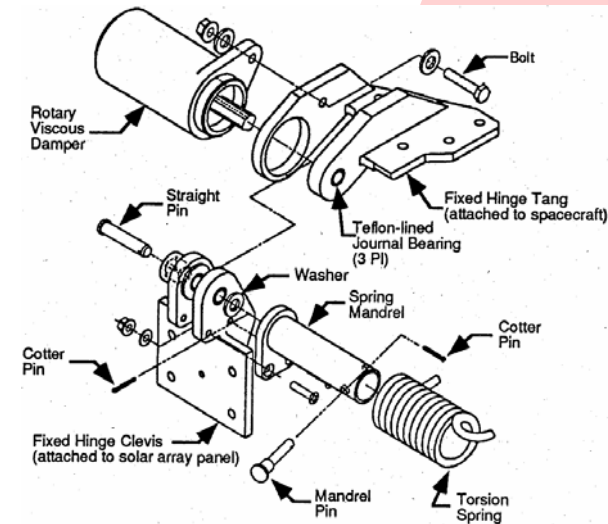
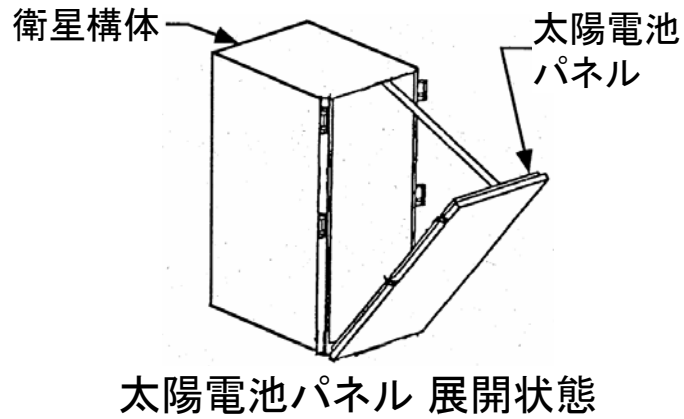
## 人工衛星に使用される機構 及び 機構系部品



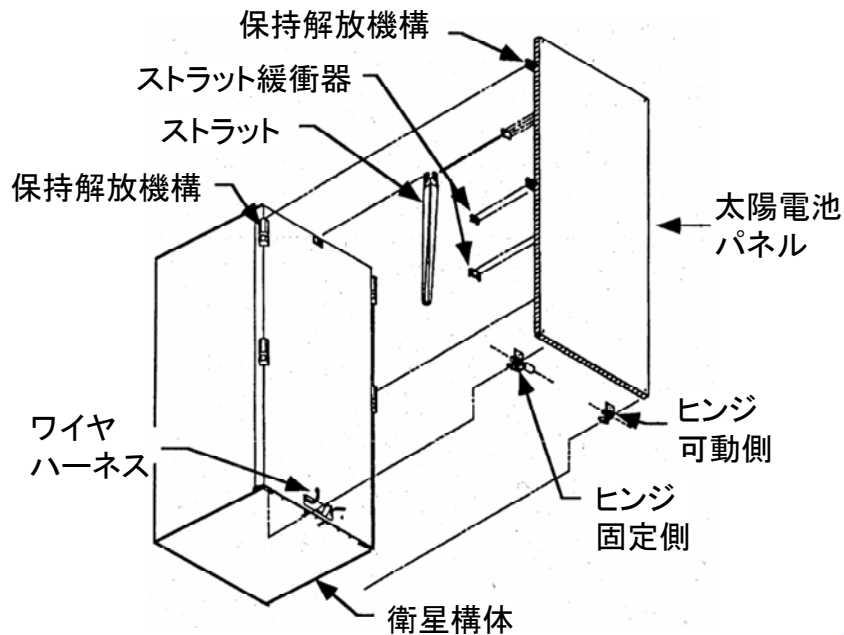
名称 : ふよう1号(ERS-1)  
打上げ : 1992年 2月  
寸法 : 1m×1.8m×3.1m 箱型  
重量 : 約1400kg



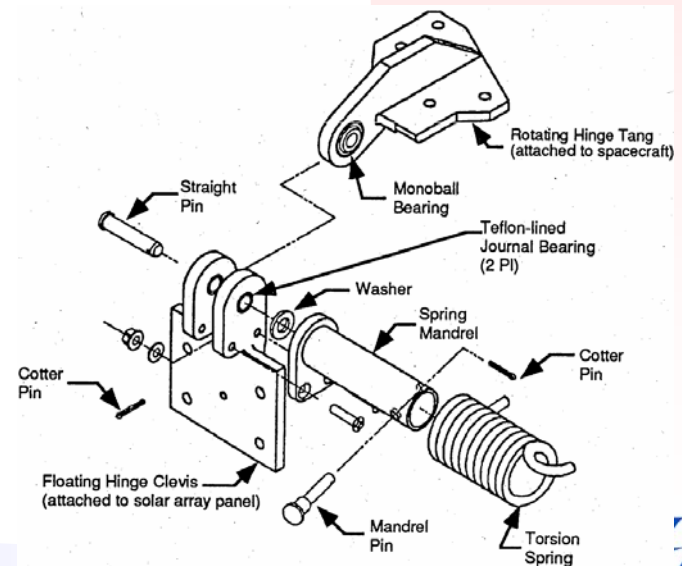
# 人工衛星に使用される機構 及び 機構系部品



ヒンジ 固定側



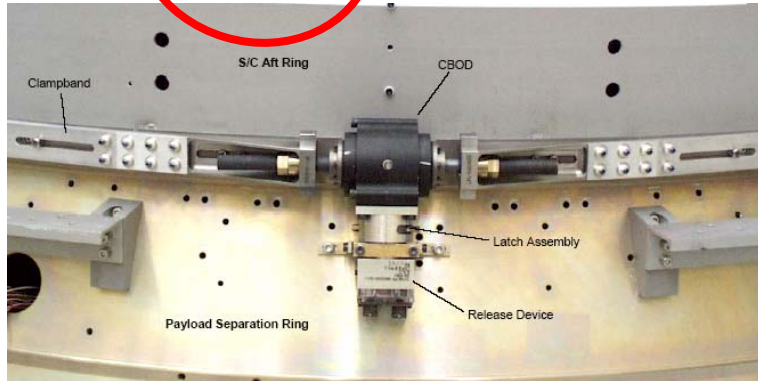
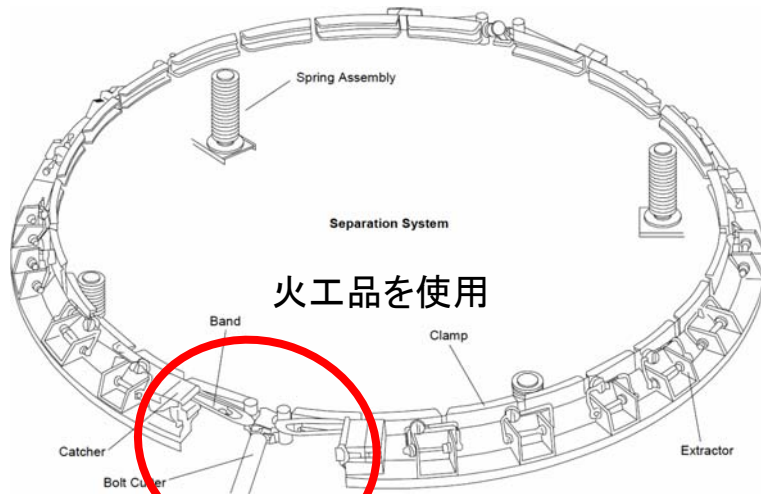
太陽電池パネル展開機構



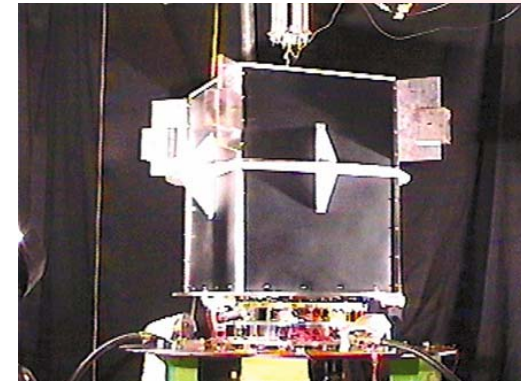
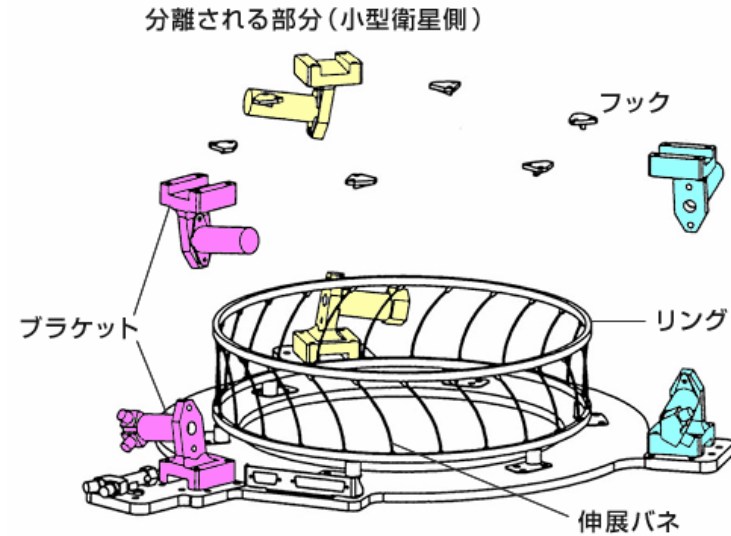
ヒンジ 可動側



# 衛星搭載(分離)部

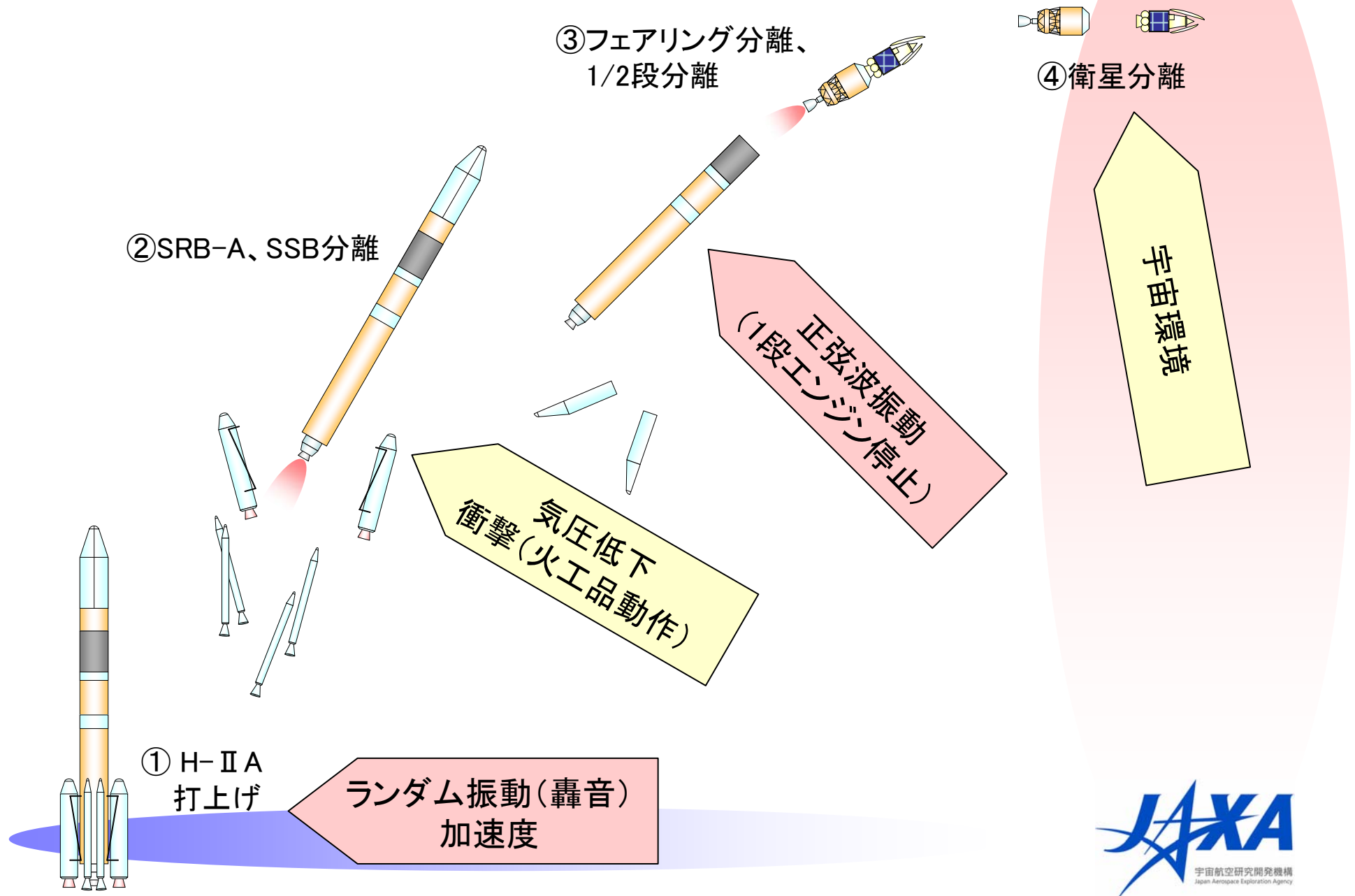


アトラスロケットの衛星搭載部



SELENEの小型衛星搭載部  
(MicroLabSatと原理は同じ)

# ロケット飛行中の過酷な環境



# 打上げ環境 振動

## 振動試験(認定試験)における条件

### (1) 人工衛星

正弦波振動 : 1.25 G (5~100 Hz)

ランダム振動 : 10.5 Grms (20~2000 Hz)

### (2) 人工衛星(小型衛星)

正弦波振動 : 2.5 G (5~100 Hz)

ランダム振動 : 7.8 Grms (20~2000 Hz)

### (3) 搭載機器(例:太陽電池パドル駆動機構)

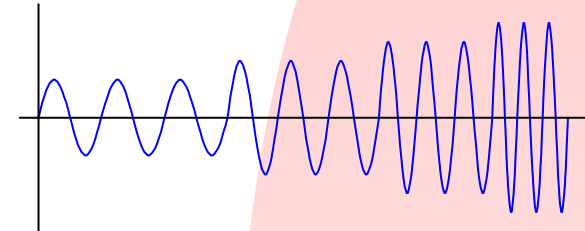
正弦波振動 : 25 G (~100 Hz)

ランダム振動 : 19.7 Grms (~2000 Hz)

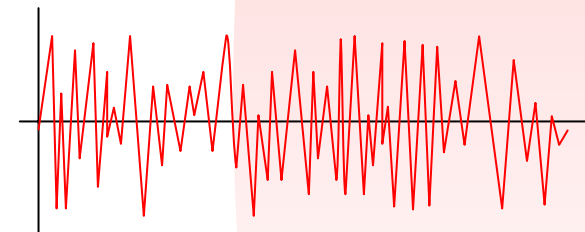
### (4) 部品(例:角度検出器)

正弦波振動 : 30 G (10~100 Hz)

ランダム振動 : 21 Grms (5~2000 Hz)



正弦波振動



ランダム振動

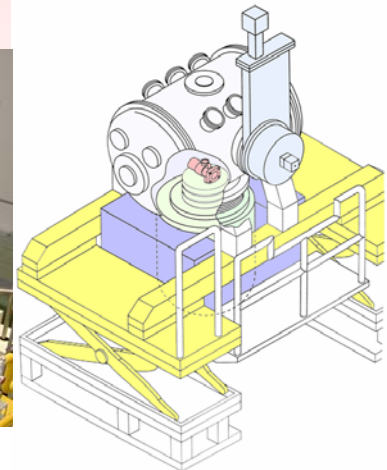
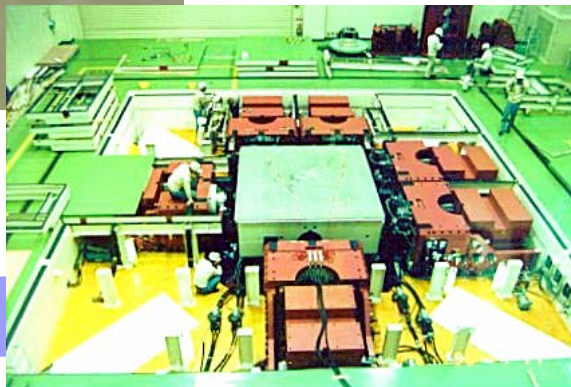


# 打上げ環境 振動

## 筑波宇宙センターの振動試験設備



32.4トン  
大型振動試験設備  
(人工衛星用)



8トン  
振動試験設備  
(部品用)

## 打上げ環境 振動

### (1) 建物の耐震設計

地震波の80%は5Hz以下

→ 建物の共振周波数を5Hz以上(10Hz以下)にする

### (2) 耐振動設計要求

ロケットの共振周波数は約30Hz

→ 人工衛星の共振周波数を30Hz以上(100Hz以下)にする

→ 人工衛星の搭載装置や部品の共振周波数を100Hz以上にする

### (3) 部品の耐振動設計(構体)

単純な対応としては、がっちりした構造にすれば良い

→ 開口部を減らす、片持ち梁は避ける、等

→ がっちりし過ぎると重くなるので、数値解析で最適点を検討することや、軽量素材を使用すること等の工夫が必要

C/C複合材や、アルミニウム合金、マグネシウム合金等を使用する

打上げ費用は、ロケット1機約85億円(静止衛星の場合、最大ペイロード4トン、1グラム約2,100円)

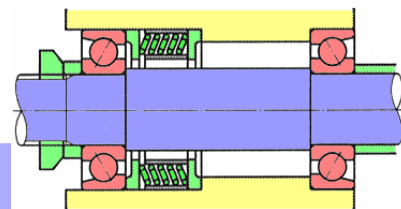
## 打上げ環境 振動 機械系の場合

### (4) 部品の耐振動設計(機構)

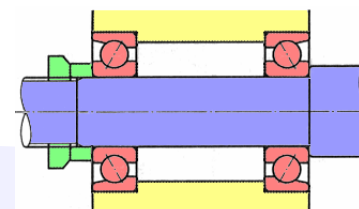
軸受等について、振動で予圧抜けが起きないように注意

- 予圧抜けが起きると、ハンマリング現象が発生して摺動面にダメージが発生
- 予圧が抜けなくても、フレットニングにより軸受外輪とハウジング(または内輪と軸)間に摩耗が発生しやすい
- 軸受の定圧予圧は、剛性が低下しやすい  
一方、定位置予圧は高剛性だが、予圧設定が難しい
- 固体潤滑の場合、接触面圧に注意(最大2GPa程度)  
面圧が大きくなる場合、軸受を大きなものに設計変更する

ロンチロック(打上げの間、機構の動きを物理的に固定する装置)を使用する方法もあるが、複雑な設計で信頼性を低下させないように注意



定圧予圧方式



定位置予圧方式



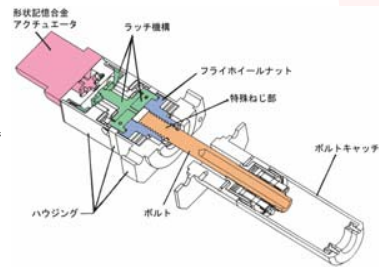
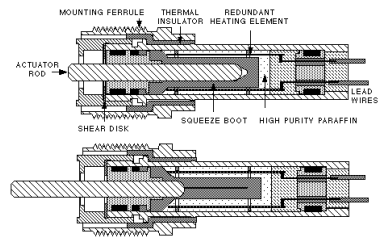
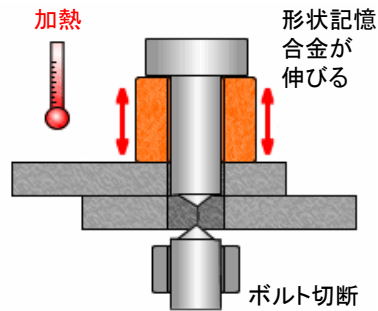
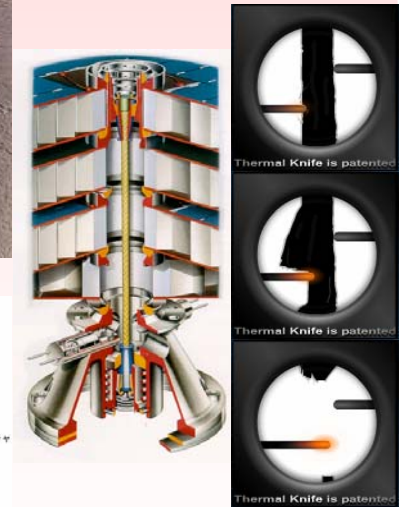
# 小型衛星で使いやすい、低衝撃分離機構

従来は、衛星分離等に火工品を使用

→1000~4000G、またはそれ以上の衝撃が発生、小型衛星には負荷が大きい

近年、諸外国では火工品に代わる低衝撃分離機構が登場、JAXAでも研究中

→衝撃力は50~200G程度



Separation Mechanism  
(米NEA社)

Frangibolt  
(米TiNi社)

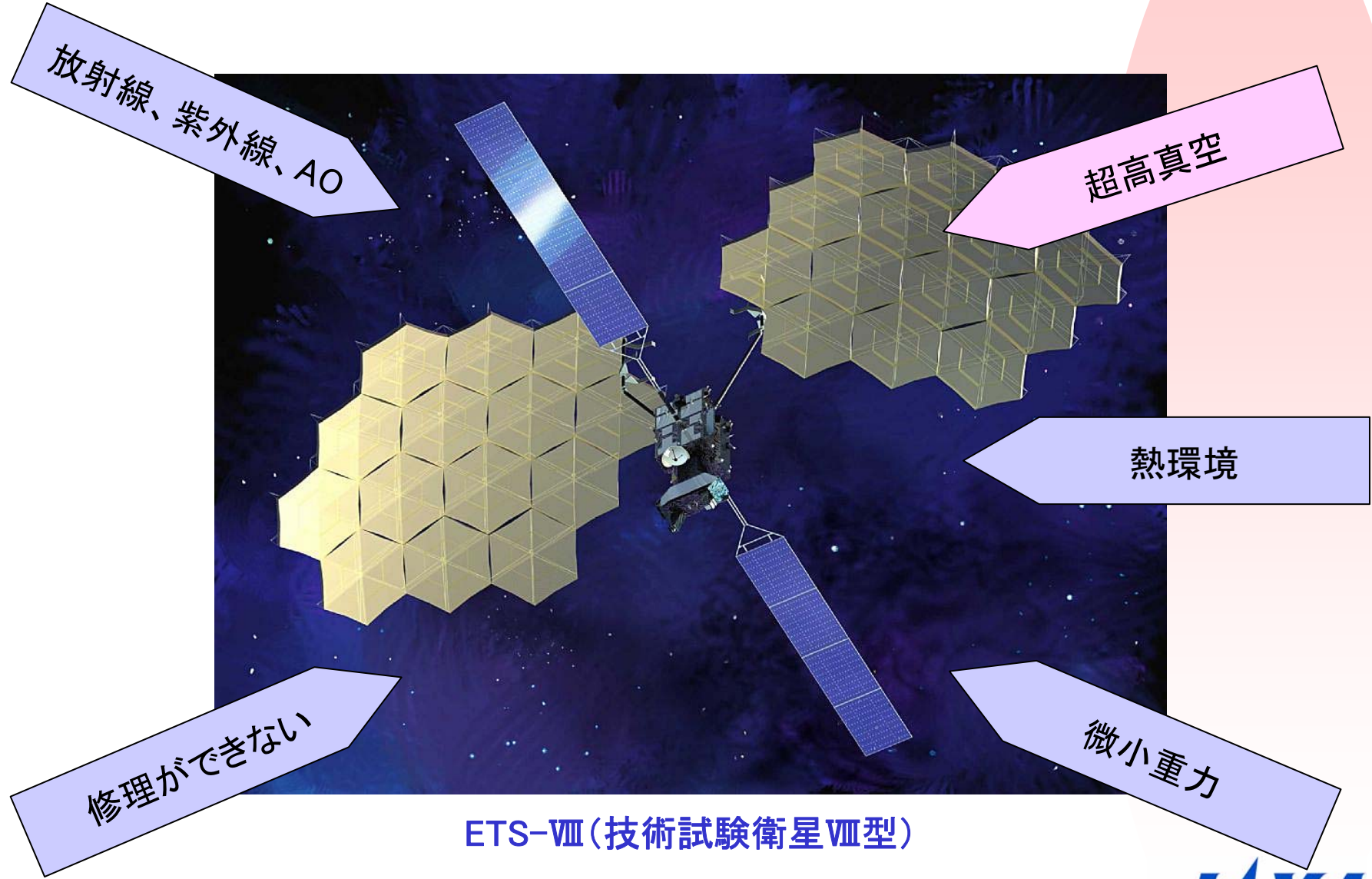
パラフィン  
アクチュエータ  
(米Starsys社)

FASSN  
(米Starsys社)

サーマルナイフ  
(蘭Dutch Space社)

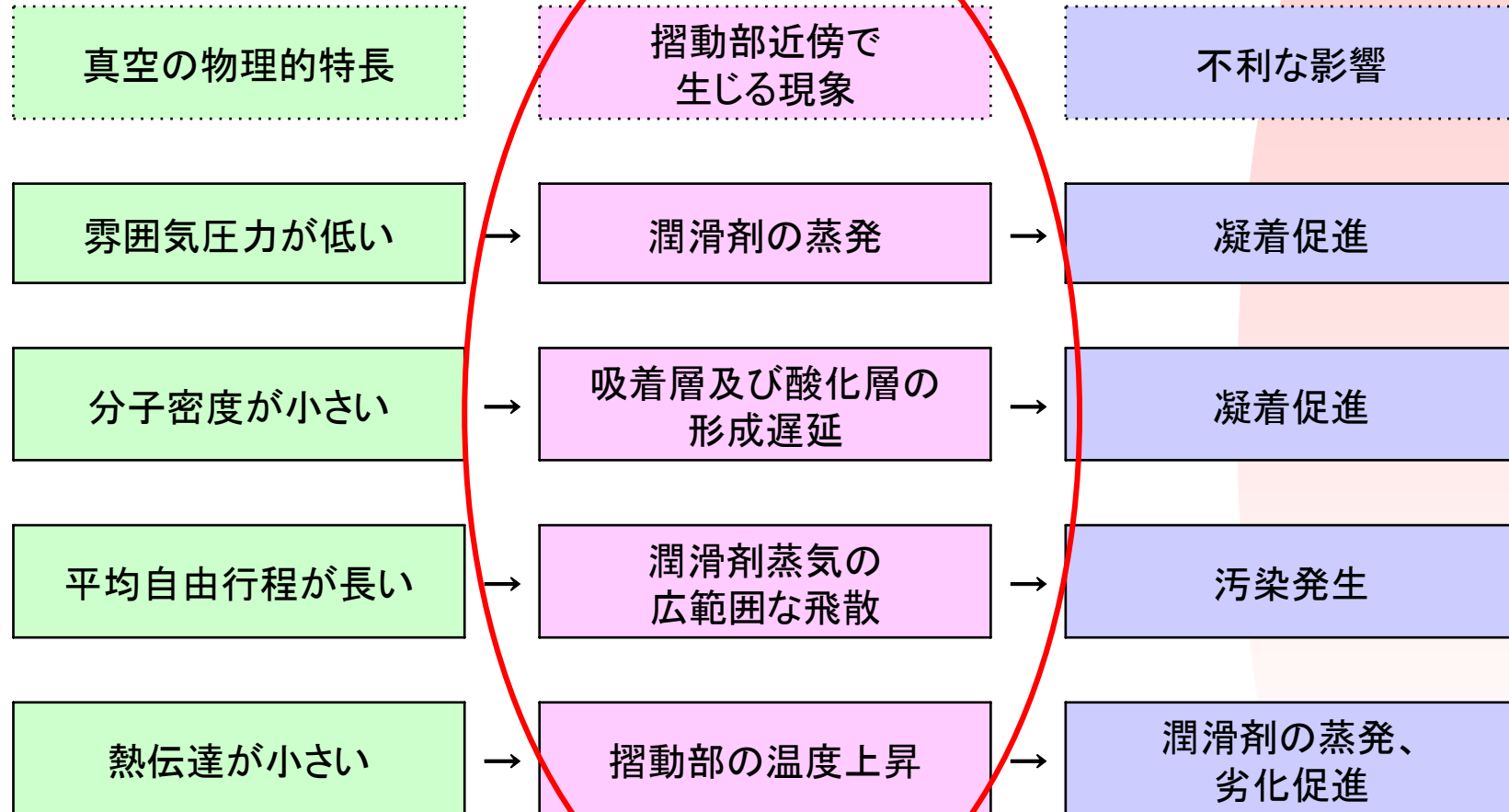


# 人工衛星の過酷な環境



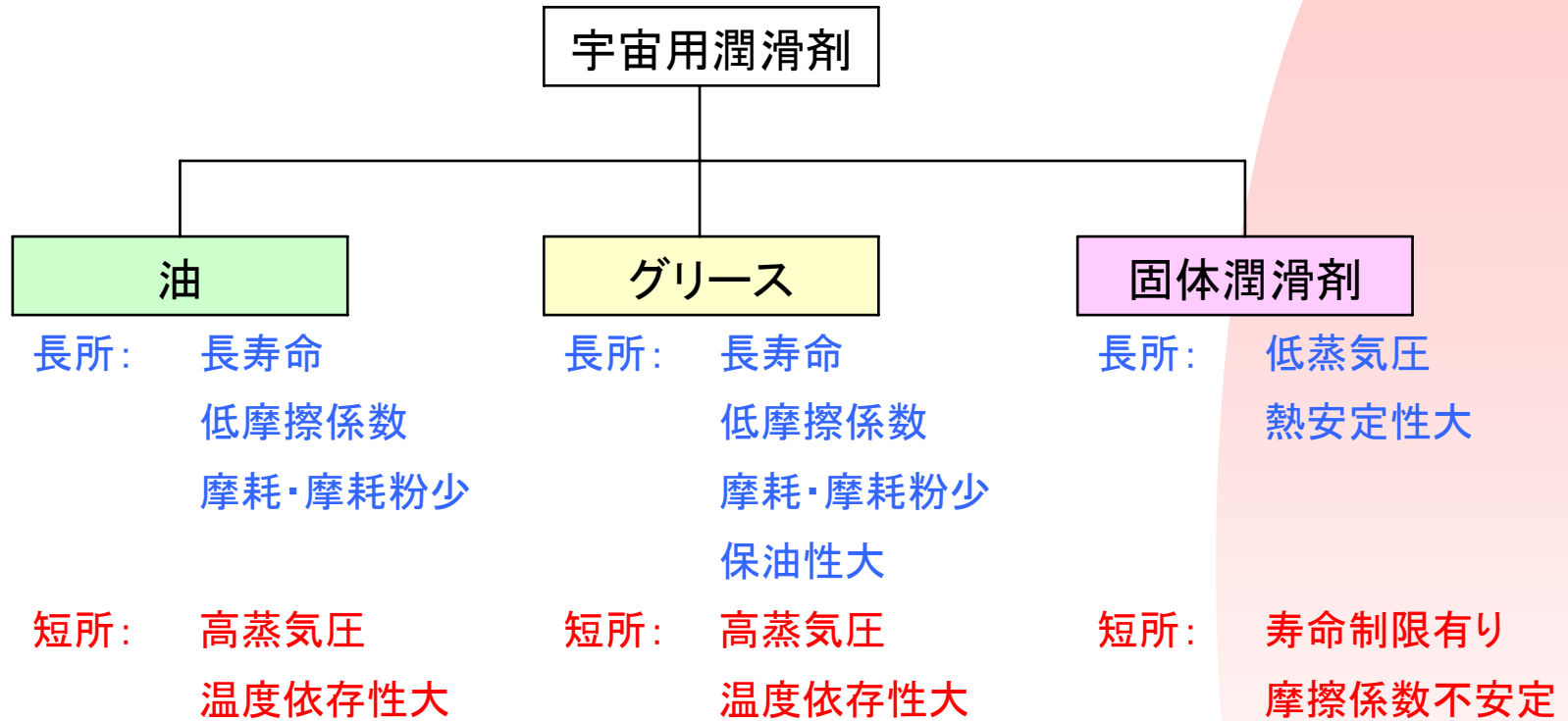
ETS-VIII (技術試験衛星VIII型)

# 宇宙環境 真空 潤滑への影響



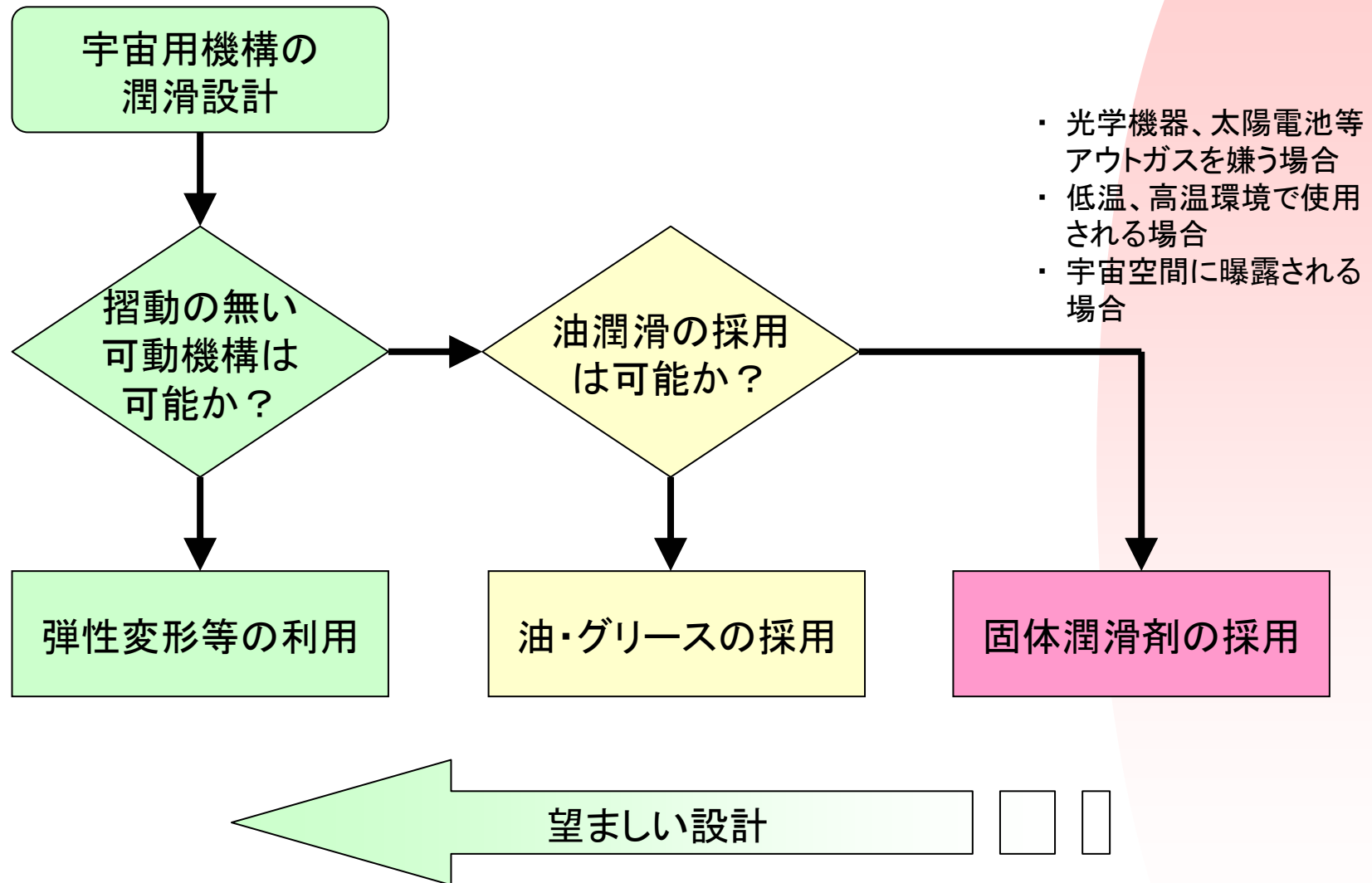


# 宇宙環境 真空 真空用潤滑



潤滑剤		摩擦係数			
		0.001	0.01	0.1	1
油・グリース (真空中・大気中)	流体潤滑状態	■	■		
	境界潤滑状態			■	
固体潤滑剤 (真空中)	層状格子物質		■	■	
	軟質金属			■	
	高分子材料		■	■	

# 宇宙用機構部品の潤滑設計



## 固体潤滑剤の種類と長所・短所 (1/2)

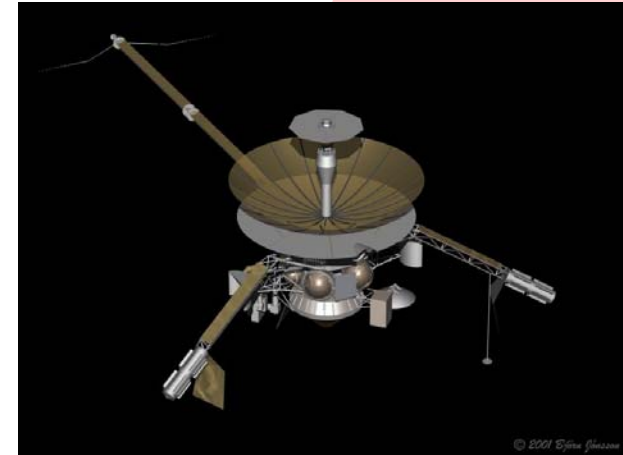
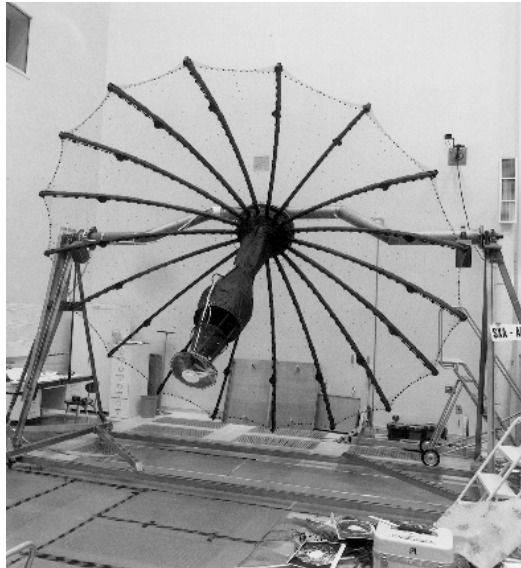
系 統	種 類	長 所	短 所	主な適用部位
軟質金属系	金 (Au) イオンプレーティング膜	耐酸化性大 アウトガス少 導電性良好 膜厚小 (<1 μm) 日本、米国の実績有り	摩擦係数がやや大 成膜可能面積小	玉軸受 (玉、内外輪、保持器) 歯車歯面
	銀 (Ag) イオンプレーティング膜	耐高温性有り アウトガス少 導電性良好 膜厚小 (<1 μm) 日本、米国の実績有り	作動中の酸化著しい 摩擦係数がやや大 成膜可能面積小	
	鉛 (Pb) イオンプレーティング膜	アウトガス少 Au及びAgより低摩擦 膜厚小 (<1 μm) 欧州の実績有り	有害 酸化しやすい 成膜可能面積小 摩擦係数がやや大	



## 固体潤滑剤の種類と長所・短所 (2/2)

系 統	種 類	長 所	短 所	主な適用部位
層状構造系	MoS <sub>2</sub> スパッタリング膜	摩擦係数小 膜厚小(<1 μm)	耐湿性小 成膜可能面積小 発塵がやや多い	玉軸受(玉、内外輪)
	MoS <sub>2</sub> 有機系焼成膜 (結合剤:ポリアラミド等)	摩擦係数小 大面積への成膜可能 長寿命	耐湿性小 膜厚大(<数十 μm)	歯車歯面 ボールねじ ラッチ機構 保持解放機構
	MoS <sub>2</sub> 無機系焼成膜 (結合剤:珪酸ソーダ等)	摩擦係数小 熱安定性良好 大面積への成膜可能 長寿命	耐湿性小 膜厚大(<数十 μm)	コイルばね プーリ
高分子系	PTFE系 スパッタリング膜	摩擦特性の雰囲気 (真空、大気)依存性小 低発塵	耐熱性小 耐荷重性やや小 アウトガスやや大	玉軸受(玉、内外輪)

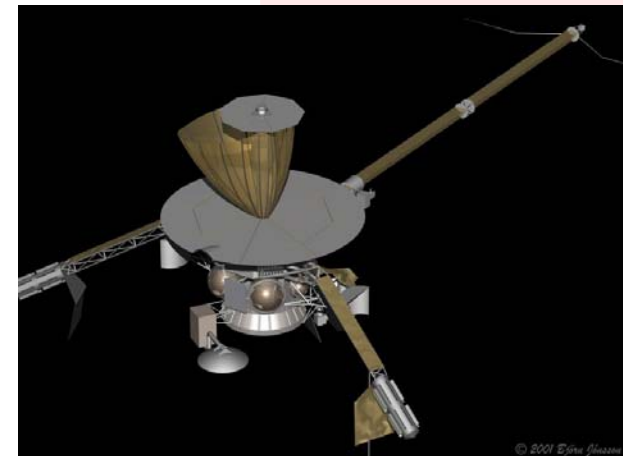
## 木星探査機ガリレオ(米)の高利得アンテナ展開不具合



アンテナ正常展開 予想図

木星探査機 ガリレオ  
機体全長 6.8m 重量 2380kg  
高利得アンテナ直径 4.8m

- 1986年 5月 : 当初打上げ予定  
チャレンジャー号事故により延期
- 1989年10月 : 打上げ
- 1991年 4月 : 高利得アンテナ展開失敗  
ソフト変更により、低利得アンテナで通信
- 2003年 9月 : 任務終了  
木星大気に入射して消滅



アンテナ展開不具合 予想図

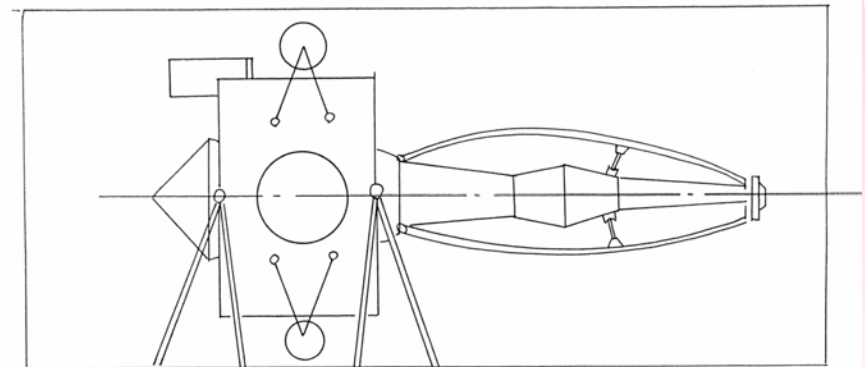
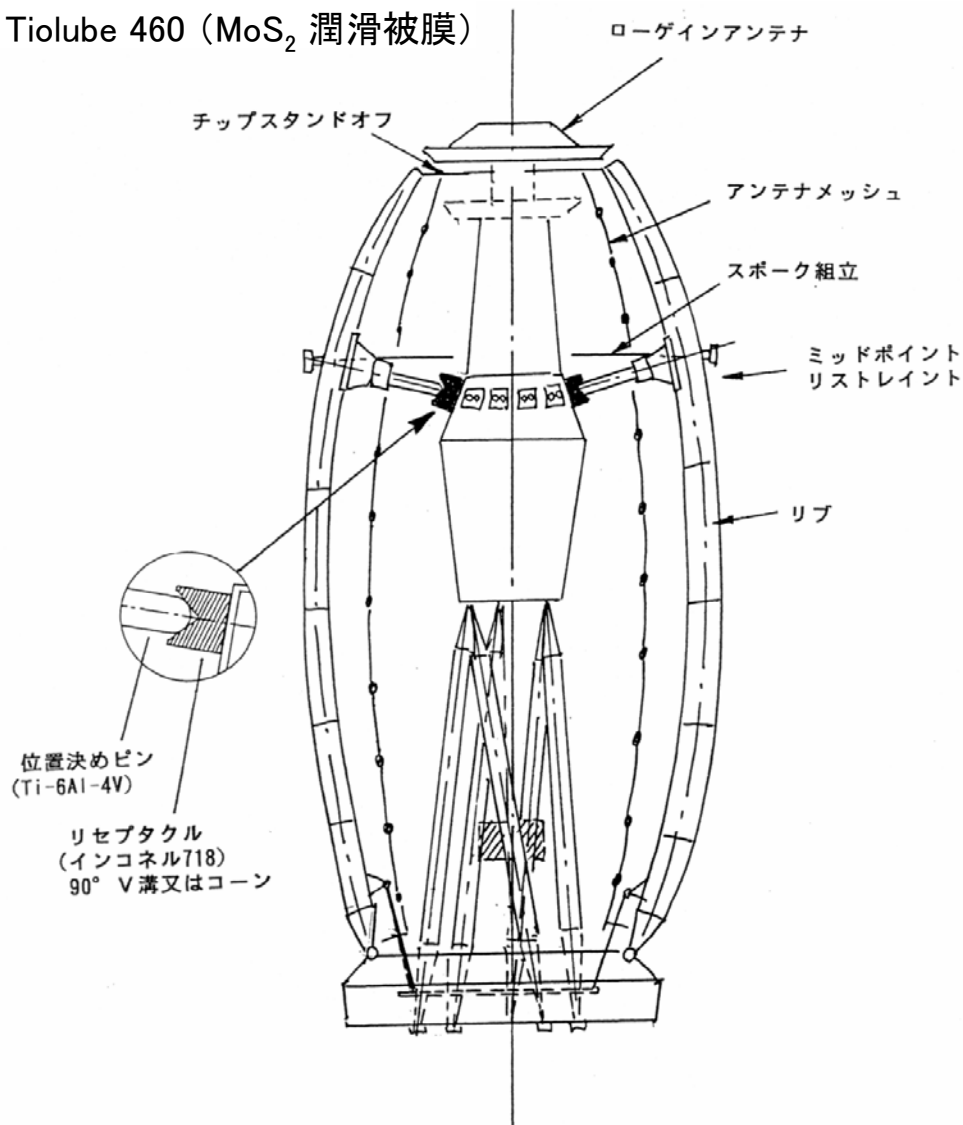
# 木星探査機ガリレオ(米)の高利得アンテナ展開不具合

ピン表面加工

Ti-6Al-4V (下地)

+ Tiodide (アノダイズ処理)

+ Tiolube 460 (MoS<sub>2</sub> 潤滑被膜)



ガリレオ探査機 地上輸送 概念想像図



## 宇宙用機構設計の注意点

- (1) 設計では、すべての使用条件において接触圧力が最小となるようにすること。
- (2) 過度な接触圧力もしくはフレットングによる面荒れを防止すること。
- (3) 接触している材料あるいはコーティングは互いに固着しないようにすること。
- (4) 接触面については、接触面積、アライメント及び荷重条件についてよく検討し、問題が無いことを確認するとともに、再現性があるものとする。
- (5) 分離を確実にするためには短ストローク、高予圧のキックばねを使用することが望ましい。
- (6) 使用潤滑剤の耐面圧に留意すること。

具体的な設計(及び評価)留意事項としては以下のものがある。

- a. 金属同士は摺動させないこと。特に同種金属の組合せは、凝着を起こしやすいので避けること。異種金属でも、電蝕が起きる場合がある。
- b. 接触面には、 $\text{MoS}_2$ のような固着を防止するコーティングをすること。
- c. 接触面に高荷重がかかる場合は、セラミックコーティングも有効である。
- d. 異種材料を組合せる場合は、熱膨張の差に起因するかじり、締付け等に留意すること。
- e. 環境試験前後で接触面の状況を確認することが重要である。
- f. 可能な限り、実際に使用する環境で機能確認を行う。

# JAXA 技術要求・ガイドライン文書

No	文書番号	表題	No	文書番号	表題	No	文書番号	表題
1	JERG-0-001	宇宙用高圧ガス機器技術基準	29	【暫定】JERG-0-029	衛星TT&C設計基準	57	【暫定】JERG-2-004	静止衛星軌道制御用推進系性能計算基準
2	【暫定】JERG-0-002	スペースデブリ発生防止標準解説書	30	【暫定】JERG-0-030	人工衛星TT&Cデータ処理基準	58	【暫定】JERG-2-005	人工衛星機械設計基準
3	JERG-0-003	宇宙用高圧ガス機器技術基準解説書	31	【暫定】JERG-0-031	回線設計基準	59	【暫定】JERG-2-006	人工衛星電気設計共通基準
4	JERG-0-004	火薬類取扱基準	32	【暫定】JERG-0-032	通信系設計基準	60	JERG-2-007	人工衛星系設計過誤防止基準
5	JERG-0-005	水素ガス取扱基準	33	【暫定】JERG-0-033	TT&Cデータ処理基準	61	JERG-2-008	人工衛星系設計過誤防止検査/試験基準
6	JERG-0-006	重油取扱基準	34	【暫定】JERG-0-034	宇宙用有機材料アウトガスデータ集	62	【暫定】JERG-2-009	人工衛星熱制御系設計基準
7	JERG-0-007	ヒドラジン(N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )取扱基準	35	【暫定】JERG-0-035	宇宙開発事業団部品適用ハンドブック	63	【暫定】JERG-2-010	人工衛星姿勢制御系設計基準
8	JERG-0-008	モノメチルヒドラジン(CH <sub>3</sub> NHNH <sub>2</sub> )取扱基準	36	【暫定】JERG-0-036	静電気対策ハンドブック(電子部品・装置)	64	【暫定】JERG-2-011	人工衛星電源系設計基準
9	JERG-0-009	四酸化二窒素取扱基準	37	【暫定】JERG-0-037	宇宙用機構及び機構部品設計ガイドライン	65	【暫定】JERG-2-012	衛星運用文書の作成要領(SOOH)
10	JERG-0-010	イソプロピルアルコール取扱基準	38	【暫定】JERG-0-038	包装・輸送・保管ハンドブック	66	【暫定】JERG-2-013	微小重力環境におけるはんだ付ハンドブック
11	JERG-0-011	液化酸素取扱基準	39	【暫定】JERG-0-039	宇宙用はんだ付工程標準	67	【暫定】JERG-2-014	人工衛星姿勢制御系コンポーネント解説書
12	JERG-0-012	液化酸素取扱基準	40	【暫定】JERG-0-040	宇宙用電子機器接着工程標準	68	【暫定】JERG-2-015	人工衛星姿勢制御系詳細技術解説書
13	JERG-0-013	液化水素取扱基準	41	【暫定】JERG-0-041	宇宙用電気配線工程標準	69	【暫定】JERG-2-016	人工衛星姿勢制御系試験検証技術解説書
14	JERG-0-014	一般危険作業安全基準	42	JERG-0-042	プリント配線板と組立品の設計標準	70	JERG-2-017	科学衛星搭載機器の熱設計基準書
15	JERG-0-015	委託運用・品質保証プログラム標準	43	【暫定】JERG-0-043	宇宙用表面実装はんだ付工程標準	71	JERG-2-018	科学衛星搭載機器の機械設計基準書
16	【暫定】JERG-0-016	宇宙開発信頼性技術ハンドブック	44	JERG-0-044	火工品包装標準	72	JERG-2-019	科学衛星搭載機器の耐環境性設計基準書
17	【暫定】JERG-0-017	品質保証プログラム標準解説書	45	【暫定】JERG-0-045	火工品の中性子非破壊検査標準	73	JERG-2-020	科学衛星搭載機器の電気設計基準書
18	【暫定】JERG-0-018	ヒューマンファクタ分析ハンドブック	46	【暫定】JERG-0-046	塗装工程標準	74	JERG-3-001	地上設備・装置 品質プログラム標準
19	【暫定】JERG-0-019	コンタミネーション管理ハンドブック	47	JERG-1-001	耐雷設計基準	75	【暫定】JERG-3-002	高圧用地上治具設計基準
20	JERG-0-020	「品質ヒヤリハット」の活用ハンドブック	48	【暫定】JERG-1-002	ロケット構造設計基準	76	【暫定】JERG-4-001	USB追跡管制設備ガイドブック
21	JERG-0-021	フルブルーフ設計ガイドライン	49	【暫定】JERG-1-003	ロケット系設計過誤防止基準	77	【暫定】JERG-4-002	H-IIロケットユーザーズマニュアル
22	【暫定】JERG-0-022	一般環境基準	50	【暫定】JERG-1-004	ロケット系設計過誤防止検査/試験基準	78	【暫定】JERG-4-003	宇宙開発関係英文略語集
23	【暫定】JERG-0-023	新地上ネットワークシステムユーザーズガイド	51	【暫定】JERG-1-005	ロケット電源設計基準	79	【暫定】JERG-4-004	宇宙用駆動機器信頼性ハンドブック
24	【暫定】JERG-0-024	宇宙データシステム(CCSDS動告)ハンドブック	52	JERG-1-006	ロケットシステム開発安全技術基準	80	【暫定】JERG-4-005	宇宙関連用語英日対訳集
25	【暫定】JERG-0-025	ロケット・人工衛星の機械部品及び構造材料選定基準	53	JERG-1-007	射場・飛行運用安全技術基準	81	【暫定】JERG-4-006	宇宙関連用語日英対訳集
26	【暫定】JERG-0-026	ソフトウェア設計基準	54	【暫定】JERG-2-001	小型人工衛星等安全設計ハンドブック	82	【暫定】JERG-4-007	H-II A USER'S MANUAL
27	【暫定】JERG-0-027	金属製圧力容器設計基準	55	【暫定】JERG-2-002	衛星一般試験標準	83	【暫定】JERG-4-008	国際単位系(SI)切換ハンドブック
28	【暫定】JERG-0-028	EMC設計基準	56	【暫定】JERG-2-003	耐放射線設計基準	84	【暫定】JERG-4-009	H-II A衛星関連施設・設備マニュアル
						85	【暫定】JERG-4-010	小型副衛星用H-II Aユーザーズマニュアル