

イプシロンロケット5号機の打上げについて

令和3(2021)年9月27日
宇宙航空研究開発機構

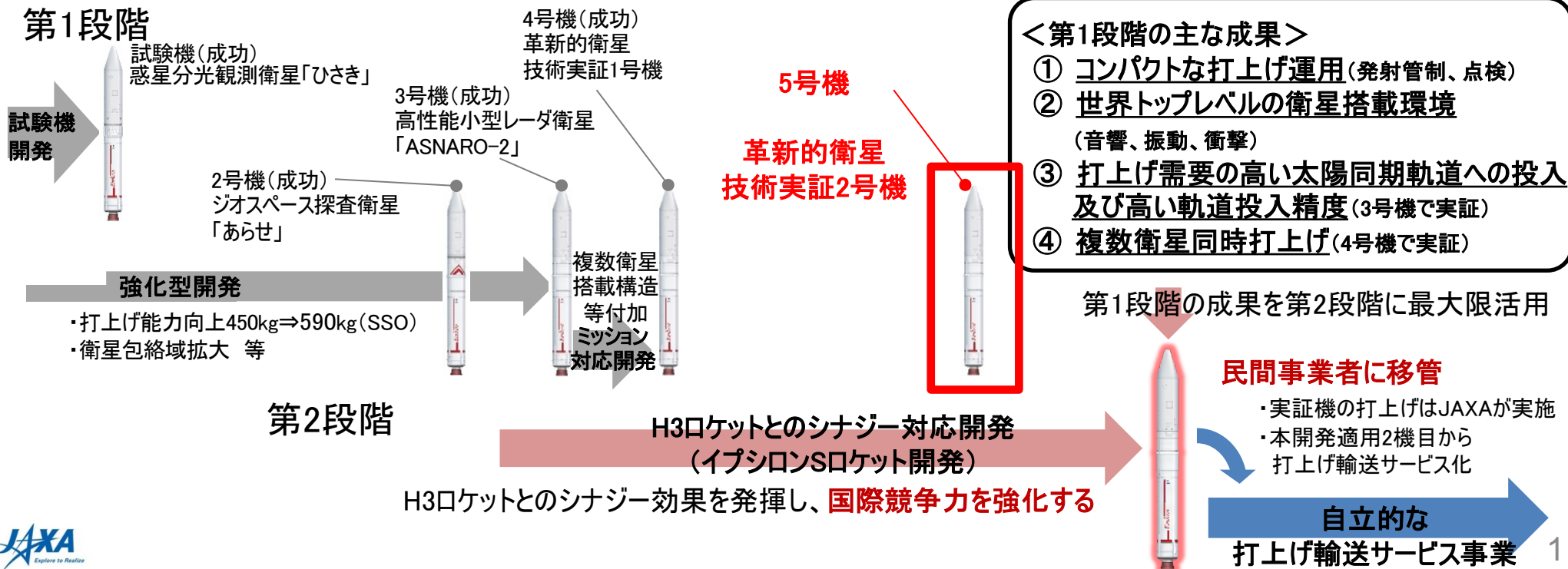
理事 布野 泰広

イプシロンロケットプロジェクトチーム プロジェクトマネージャ 井元 隆行

1. イプシロンロケット5号機について

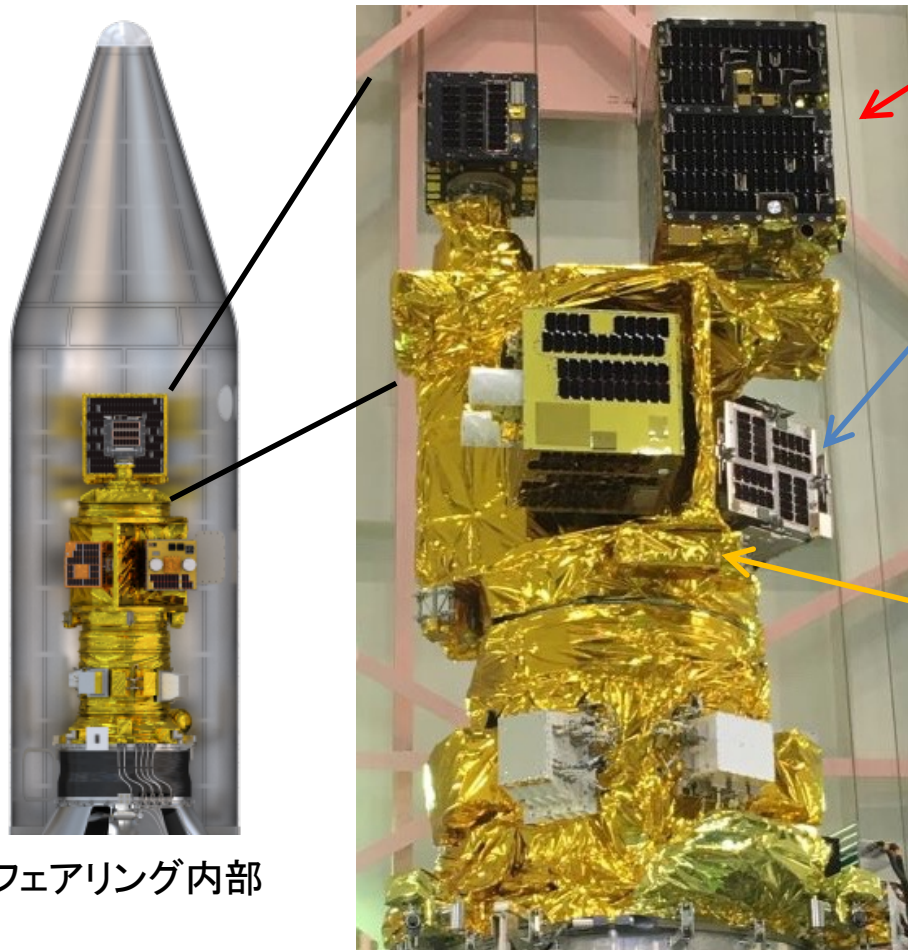
- イプシロンロケットは、小型衛星打上げ手段早期獲得・固体ロケット空白期間極小化のため2段階の開発を推進。
 - 第1段階: **M-V及びH-IIAで培った技術を最大限活用し、4号機までの打上げに成功**
 - 第2段階: H3ロケットとのシナジー効果を発揮して**国際競争力を強化**
- 5号機は第1段階の開発成果が適用されているロケット。なお、第2段階となるイプシロンSロケット開発も本ロケットの運用と並行して実施中。

FY2013	FY2014	FY2015	FY2016	FY2017	FY2018	FY2019	FY2020	FY2021	FY2022~
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------



1. イプシロンロケット5号機について

- イプシロンロケット5号機は9基の衛星から構成される革新的衛星技術実証2号機を打ち上げる。
- 4号機の複数衛星搭載構造を改修し、搭載可能な衛星数を向上させた。
 - ✓ 4号機の複数衛星搭載構造：200kg級衛星 × 1基、50kg級衛星 × 3基、キューブサット3Uサイズ × 2
 - ✓ 5号機の複数衛星搭載構造：100kg級衛星 × 2基、50kg級衛星 × 3基、キューブサット3Uサイズ × 3



フェアリング内部

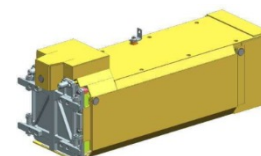
◆小型実証衛星2号機(RAISE-2)

◆超小型衛星4基(50kg級)

- ① HIBARI(東京工業大学)
- ② Z-Sat(三菱重工業株式会社)
- ③ DRUMS(川崎重工業株式会社)
- ④ TeikyoSat-4(帝京大学)

◆キューブサット4基

- ① ASTERISC(千葉工業大学)
- ② ARICA(青山学院大学)
- ③ NanoDragon(明星電気株式会社)
- ④ KOSEN-1(高知工業高等専門学校)



5号機には3式搭載し、①、③、②+④に分けて格納

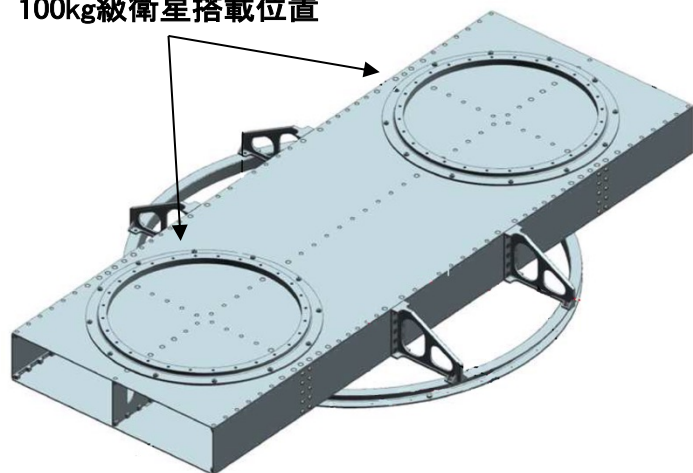
キューブサット放出装置(E-SSOD)

E-SSOD: Epsilon Small Satellite Orbital Deployer

1. イプシロンロケット5号機について

- 100kg級衛星2基を搭載するための構造を開発。以下の試験を実施し計画通り開発を完了した。

100kg級衛星搭載位置

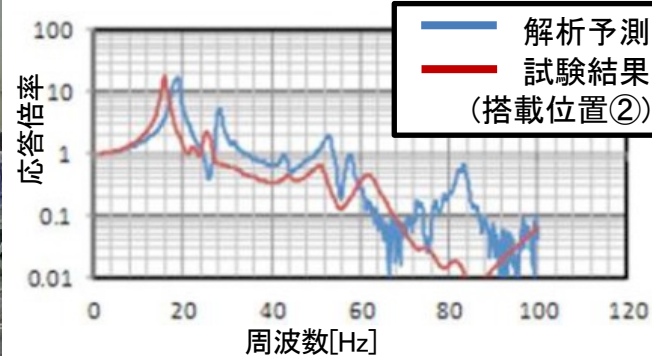
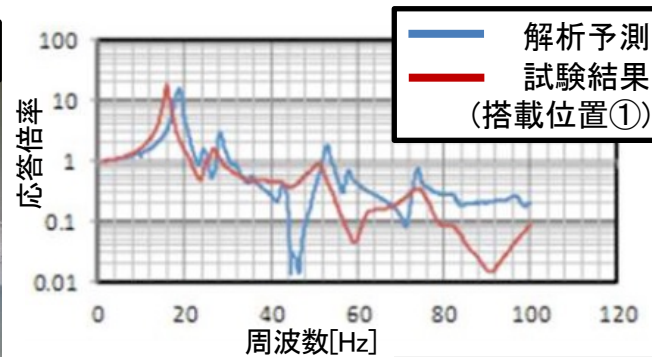
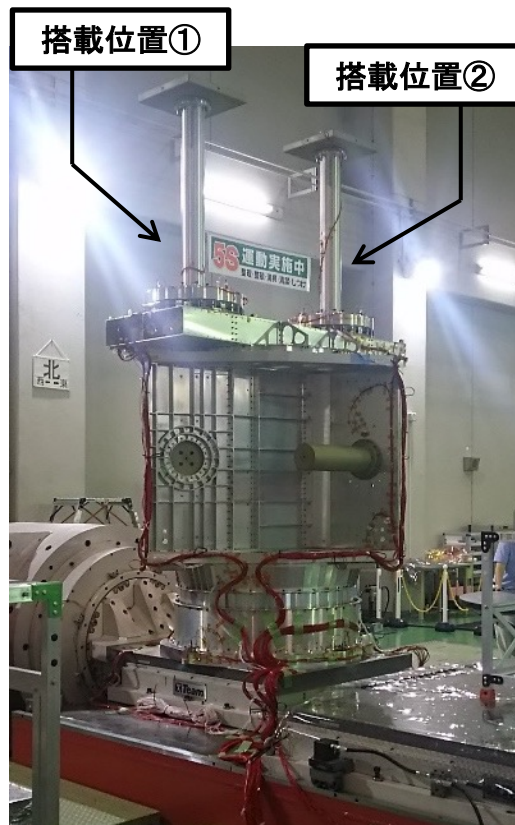


開発試験フロー



搭載位置①

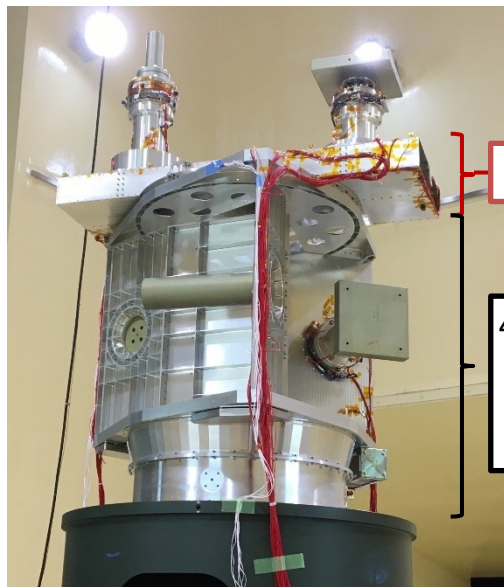
搭載位置②



衛星重心位置での周波数応答解析と結果を評価し、設計の妥当性を確認。

開発範囲

4号機の複数衛星搭載構造を活用 (E-SSOD搭載数を増加させた)



音響試験時

振動試験時(左:試験状況 右:試験結果の一例)

2. 機体諸元

- 5号機はオプション形態(小型液体推進系(PBS)付)。複数衛星搭載に対応。



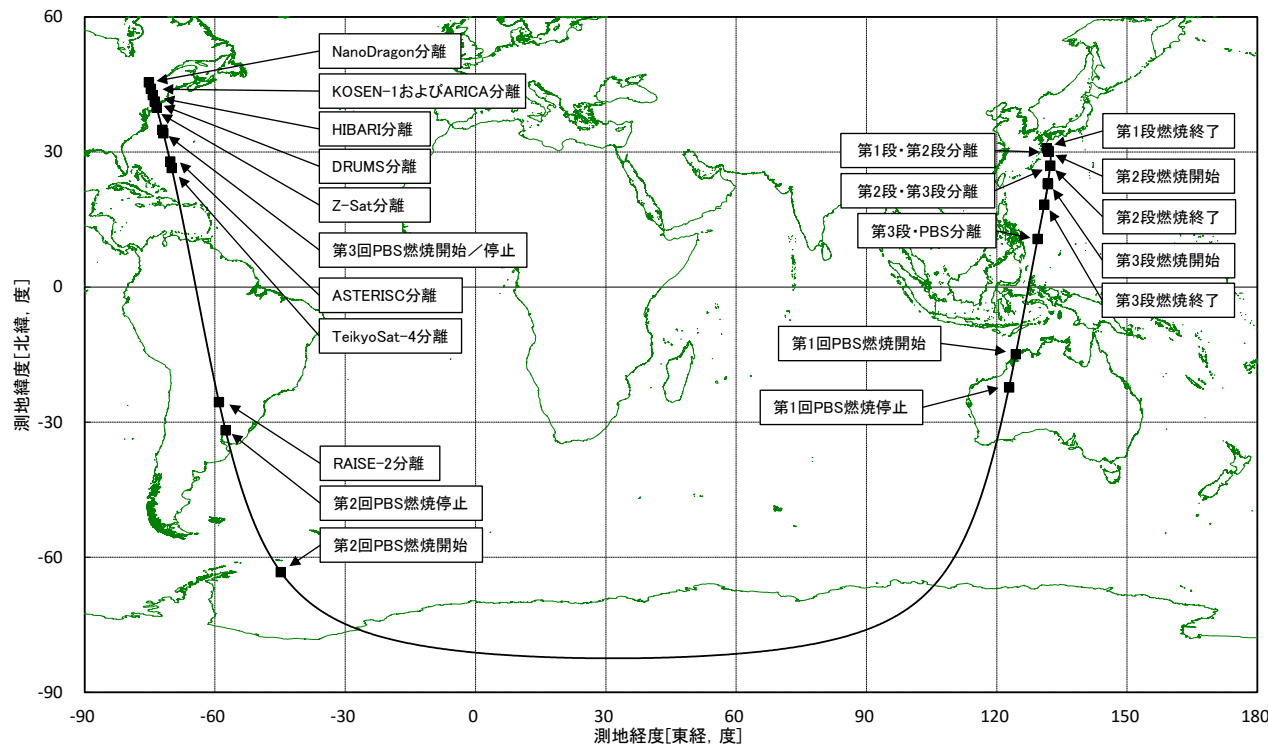
項目		4号機(オプション形態)	5号機(オプション形態)
全長		26m	26m
直径		最大径:φ2.6	最大径:φ2.6
全備質量		96ton	96ton
段構成		固体3段式 + PBS	固体3段式 + PBS
衛星分離		小型実証衛星1号機:低衝撃型衛星分離機構 超小型衛星:Lightband* ² 、キューブサット:E-SSOD* ³	小型実証衛星2号機:Lightband* ¹ 超小型衛星:Lightband* ² 、キューブサット:E-SSOD* ³
フェアリング		投棄部:9187mm、非投棄部:450mm	投棄部:9187mm、非投棄部:450mm
PBS	推進薬タンク	φ650 x1基(1液ヒドラジン)	φ650 x1基(1液ヒドラジン)
	姿勢制御	PBSスラスタ(3軸)	PBSスラスタ(3軸)
第3段	モータ	KM-V2c (ノズル非伸展)	KM-V2c (ノズル非伸展)
	推進薬	ポリブタジエン系コンポジット	ポリブタジエン系コンポジット
	姿勢制御	スピン安定	スピン安定
第2段	モータ	M-35 (φ2.6m) (ノズル非伸展)	M-35 (φ2.6m) (ノズル非伸展)
	推進薬	ポリブタジエン系コンポジット	ポリブタジエン系コンポジット
	姿勢制御	TVC+RCS	TVC+RCS
第1段	モータ	SRB-A	SRB-A
	推進薬	ポリブタジエン系コンポジット	ポリブタジエン系コンポジット
	姿勢制御	TVC + SMSJ	TVC + SMSJ

*1) Planetary Systems Corporation社製Lightband® 18.25 inchタイプ、*2) Planetary Systems Corporation社製Lightband® 8 inchタイプ、*3) キューブサット放出装置 (E-SSOD:Epsilon Small Satellite Orbital Deployer)

3. 飛行経路とシーケンスオブイベント

■ 9基の衛星を太陽同期軌道に投入する。

ロケットの飛行計画



ロケットの飛行経路

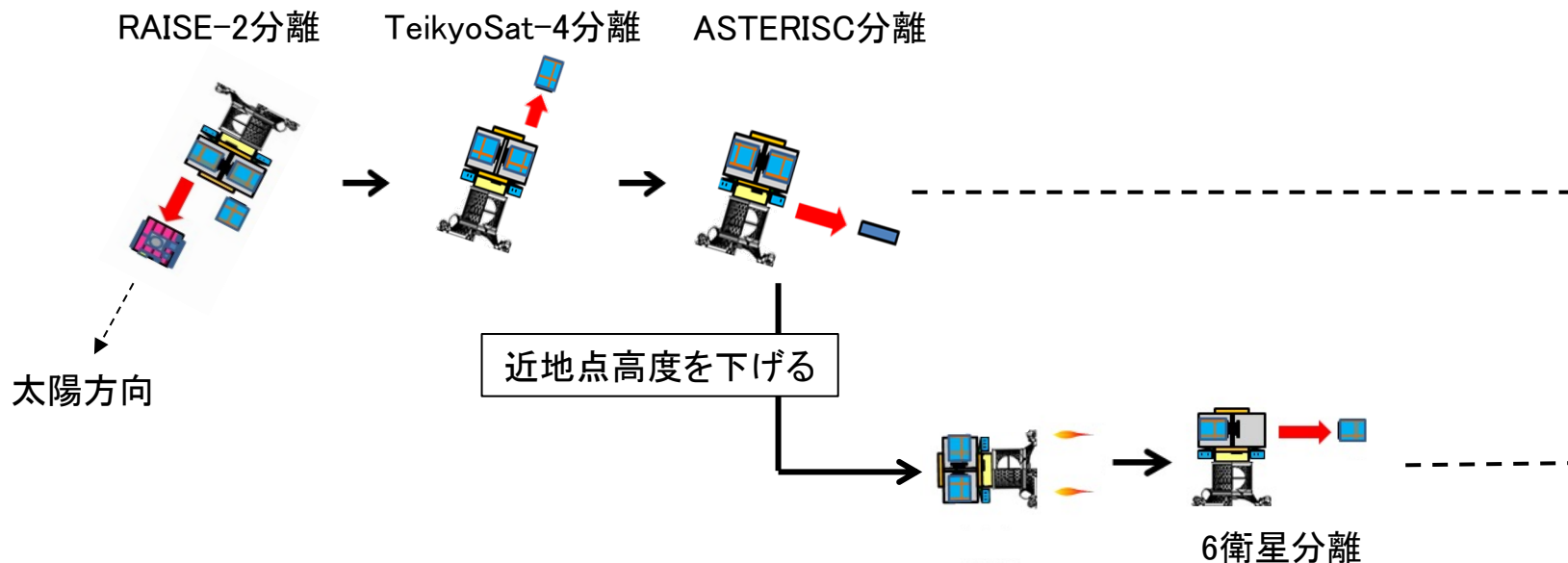
事象	打上後経過時間			高度 km	慣性 速度 km/s	
	時	分	秒			
(1) リフトオフ	00	00	0	0	0.4	
(2) 第1段 燃烧終了*	01	48	108	73	2.3	
(3) 衛星フェアリング分離	02	31	151	121	2.1	
(4) 第1段・第2段分離	02	41	161	130	2.0	
(5) 第2段 燃烧開始	02	45	165	133	2.0	
(6) 第2段 燃烧終了*	04	54	294	212	4.8	
(7) 第2段・第3段分離	06	30	390	241	4.7	
(8) 第3段 燃烧開始	06	34	394	241	4.7	
(9) 第3段 燃烧終了*	08	02	482	234	7.9	
(10) 第3段・PBS**分離	09	54	594	239	7.9	
(11) 第1回PBS 燃烧開始	16	13	973	283	7.8	
(12) 第1回PBS 燃烧停止	18	03	1083	301	7.8	
(13) 第2回PBS 燃烧開始	42	17	2537	559	7.5	
(14) 第2回PBS 燃烧停止	50	54	3054	571	7.6	
(15) RAISE-2分離	52	35	3155	570	7.6	
(16) TeikyoSat-4分離	1	06	30	3990	570	7.6
(17) ASTERISC分離	1	06	53	4013	570	7.6
(18) 第3回PBS 燃烧開始	1	08	34	4114	572	7.6
(19) 第3回PBS 燃烧停止	1	08	47	4127	572	7.6
(20) Z-Sat分離	1	10	06	4206	574	7.6
(21) DRUMS分離	1	10	29	4229	574	7.6
(22) HIBARI分離	1	10	52	4252	575	7.6
(23) KOSEN-1およびARICA分離	1	11	15	4275	575	7.6
(24) NanoDragon分離	1	11	38	4298	576	7.6

*) 燃烧室圧力最大値の5%時点

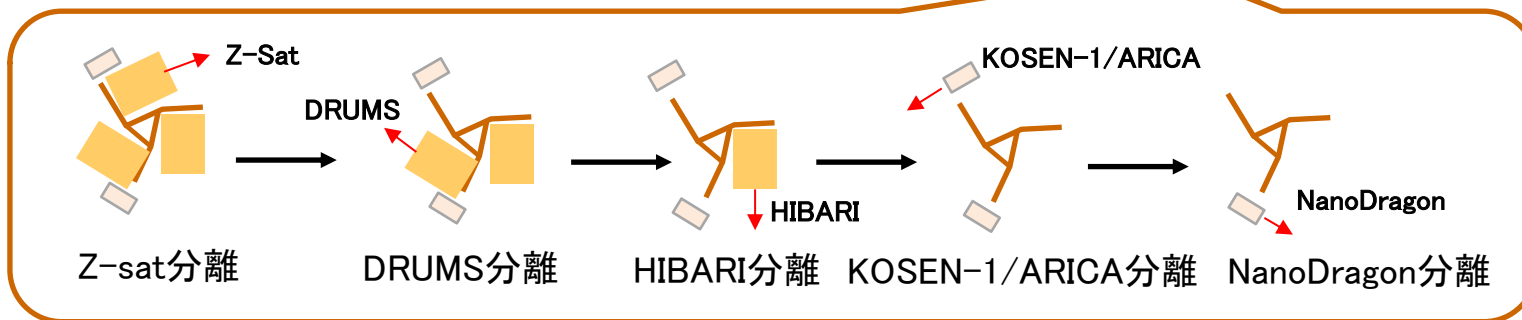
***) PBS (Post Boost Stage): 小型液体推進系

3. 飛行経路とシーケンスオブイベント

- 小型実証衛星2号機 (RAISE-2) 分離後、超小型衛星とキューブサットを順次分離する。
- 以下の衛星要望への対応および衛星相互の衝突回避のため、PBSにより姿勢と軌道を制御。
 - ✓ RAISE-2: ロケット結合面と反対側の面を太陽方向に向けた姿勢で分離
 - ✓ ASTERISC/HIBARI: 運用時の相互の電波干渉回避のため高度差をつけて分離



【機軸方向から見た図】



4. 打上げ準備状況

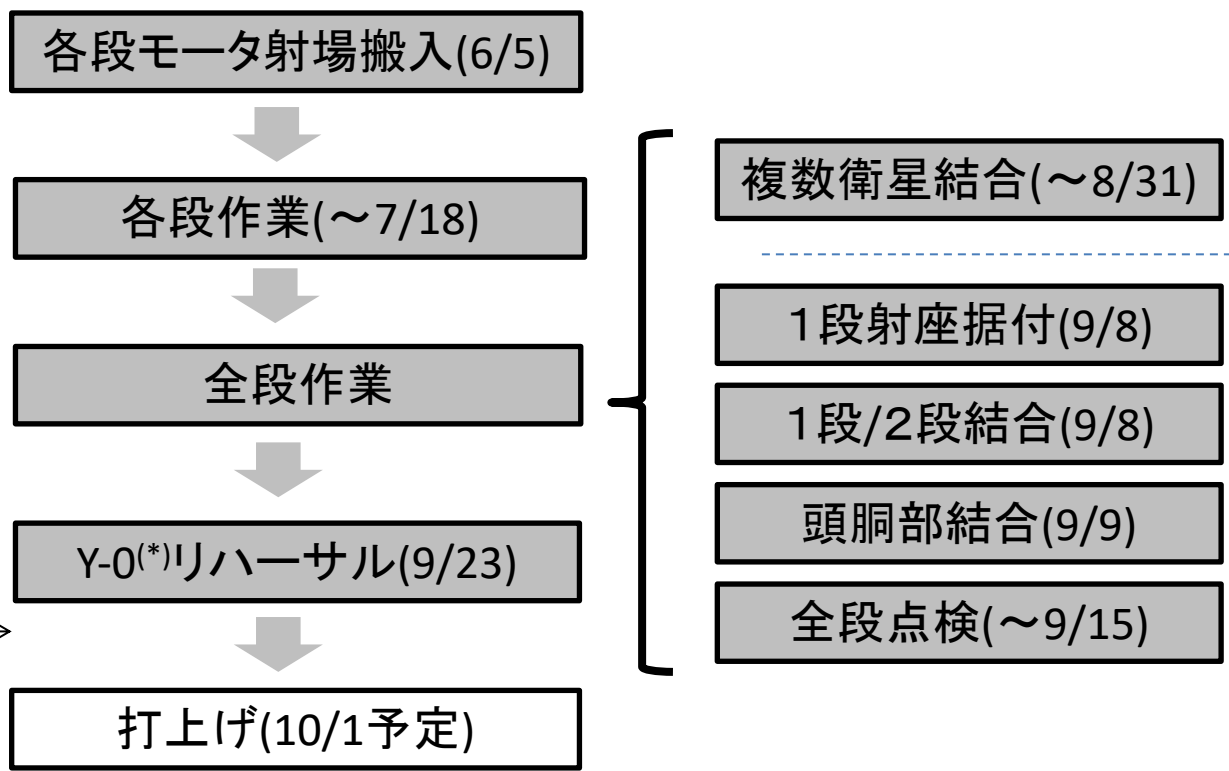
- 6月5日に1段モータを射場に搬入し、各段作業、全段作業、Y-0リハーサルを完了。
- 10月1日に内之浦宇宙空間観測所から打ち上げる予定。

【作業場所】

M組立室



M整備塔



(*)Y-0: 打上げ当日

4. 打上げ準備状況

1段モータ輸送・搬入の状況



各段作業の状況



内之浦での水切り



陸上輸送



M組立室搬入



2段



3段・PBS



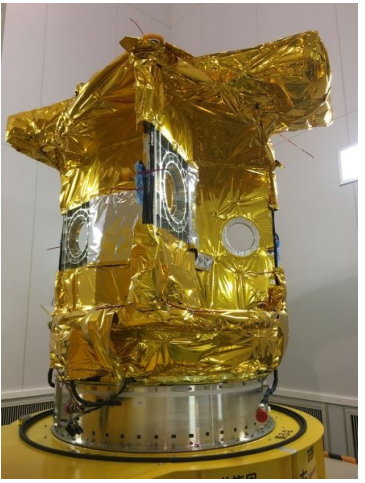
フェアリング



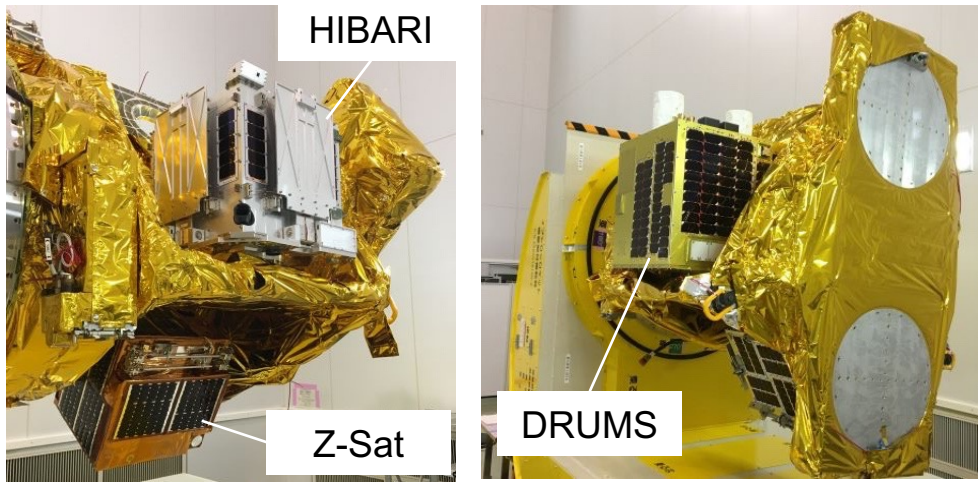
1段

4. 打上げ準備状況

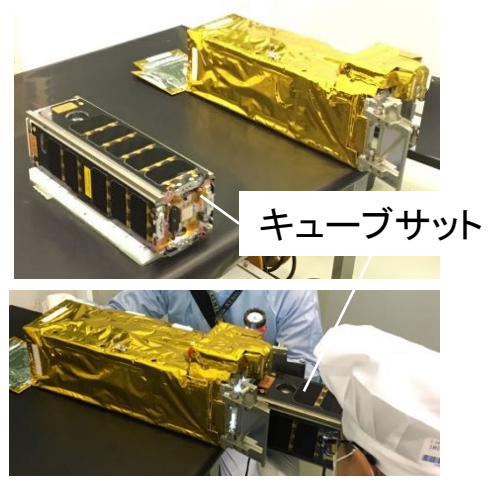
複数衛星搭載構造



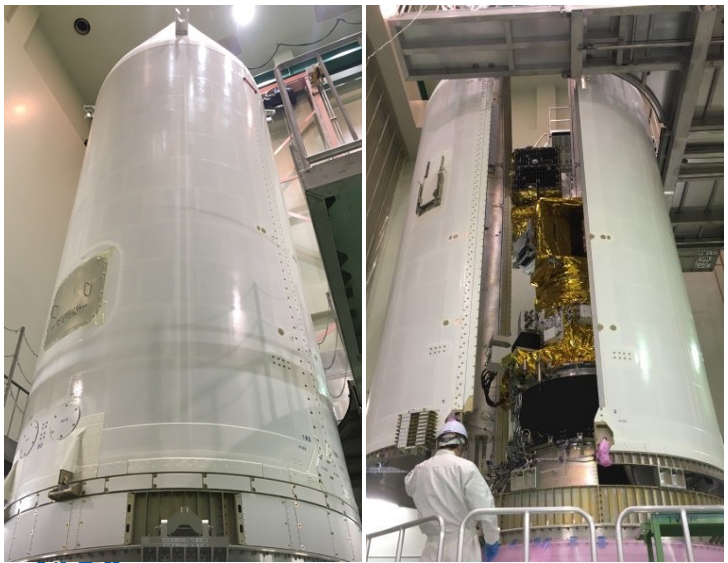
超小型衛星結合



キューブサット収缶



フェアリング結合



小型実証衛星2号機・超小型衛星搭載



キューブサット放出装置を複数衛星搭載構造に取付

4. 打上げ準備状況

1段VOS



2段VOS



頭胴部VOS



5. まとめ

- イプシロンロケット5号機の主な特徴は以下の通り。
 - ✓ イプシロンロケットとして最多となる9基の衛星を打ち上げ

- イプシロンロケット5号機の状況と今後の予定は以下のとおり。
 - ✓ 各段を内之浦宇宙空間観測所に搬入、点検し、全段作業を完了した。
 - ✓ Y-0リハーサルを実施し、打上げ当日の一連の作業を確認した。
 - ✓ 今後、カウントダウン作業移行前審査にて全系の準備状況を確認し、打上げを行う。
 - ✓ なお、作業を進めるにあたっては下記に示す措置を徹底し、新型コロナウイルス感染拡大防止に努めている。

(内之浦宇宙空間観測所における主な感染拡大防止策)

- ・マスク着用や不要不急の外出の自粛、毎日の検温等の基本動作の徹底
- ・Web会議の活用、執務室の換気、出張等に伴う移動回数最小化
- ・ドアノブ・スイッチなどの不特定多数が接触する共用部を定期的に消毒
- ・地元の方々に打上げに関し協力いただく際にも、密にならないような工夫を行う

(参考)

これまでの主な成果

① コンパクトな打上げ運用(発射管制、点検)



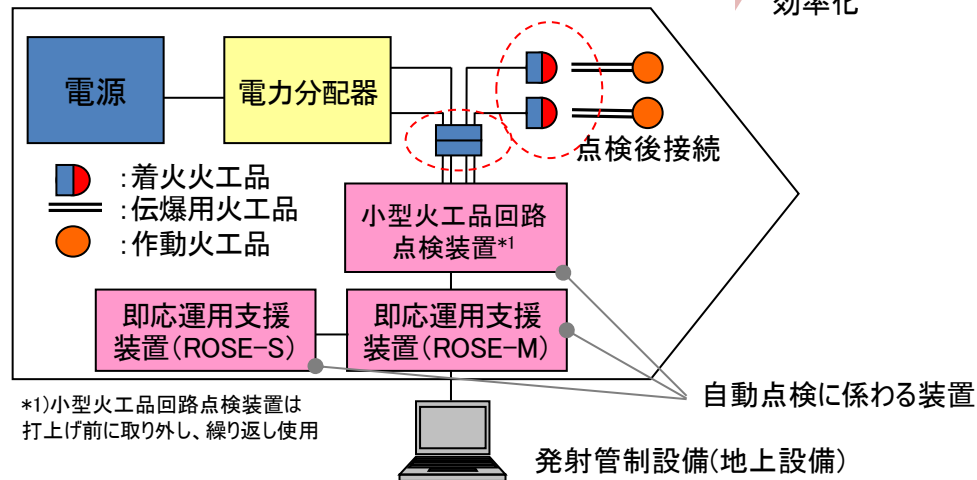
M-Vロケット打上げ時
約60人



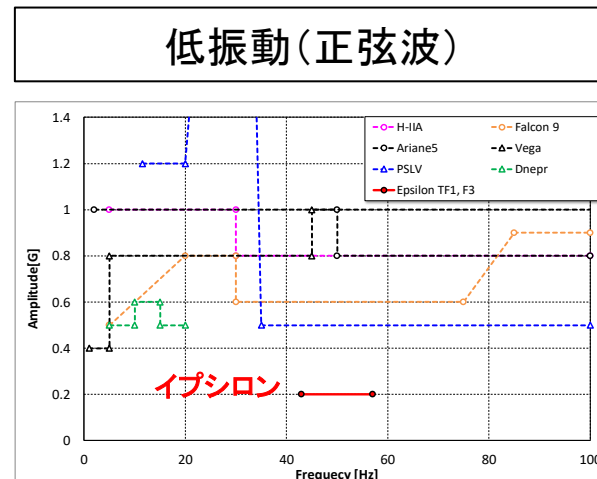
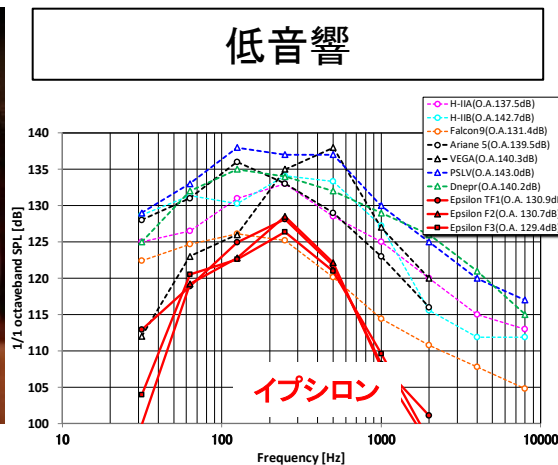
イpsilonロケット打上げ時
発射管制オペレータ6人

自動点検: 手順実行、閾値判定、記録等を自動で行う

点検作業や発射管制作業の
効率化



② 世界トップレベルの衛星搭載環境



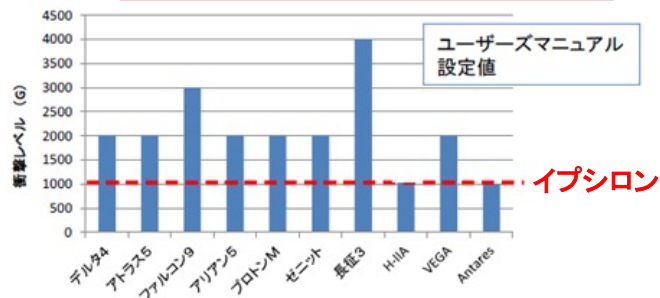
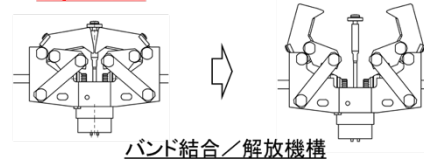
これまでの主な成果

② 世界トップレベルの衛星搭載環境(つづき)

低衝撃(衛星分離)

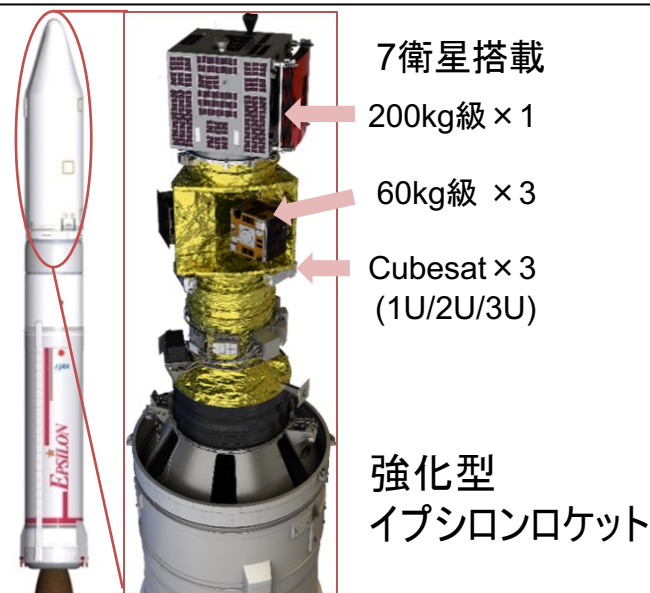
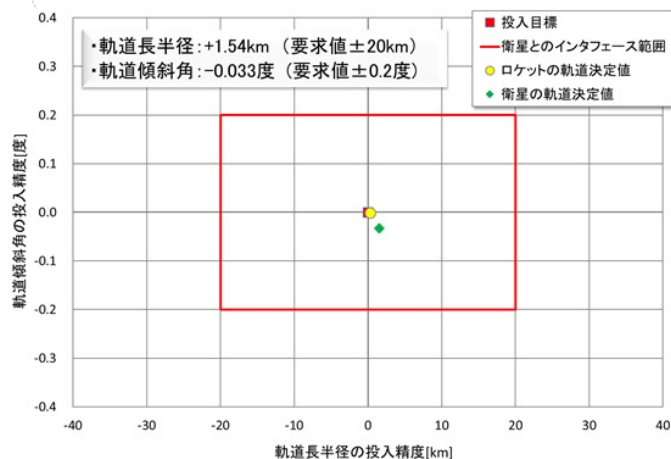
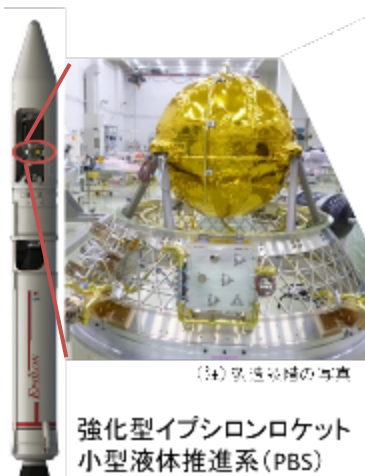


非火工品デバイスをトリガとし、リンクによりボルト拘束解除
→衝撃レベル小







④ 複数衛星同時打上げ (4号機に適用)

③ 太陽同期軌道投入、高い軌道投入精度



打上げ実績

試験機	2号機(強化型)	3号機(強化型)	4号機(強化型)
オプション形態(PBS有) 打上げ:2013年9月14日 14:00:00(JST)	基本形態(PBS無) 打上げ:2016年12月20日 20:00:00(JST)	オプション形態(PBS有) 打上げ:2018年1月18日 06:06:11(JST)	オプション形態(PBS有) 打上げ:2019年1月18日 09:50:20(JST)
			
衛星:ひさき(SPRINT-A) 投入軌道 高度:約950×1150km 傾斜角:約31度	衛星:あらせ(ERG) 投入軌道 高度:約220×33200km 傾斜角:約32度	衛星:ASNARO-2 投入軌道 高度:約505km 傾斜角:97.4度 <受託衛星> <太陽同期軌道>	衛星:RAPIS-1他、計7基 投入軌道 高度:約500km 傾斜角:97.2度 <複数衛星打上げ>

4号機の打上げ結果

- 革新的衛星技術実証1号機(7基構成)を搭載したイプシロンロケット4号機を平成31年1月18日9時50分20秒(日本標準時)に内之浦宇宙空間観測所から打上げ、全ての衛星を正常に分離し、所定の軌道に投入した。

※当初平成31年1月17日に予定されていたが、当日の天候悪化が予想されたため、打上げ日を平成31年1月18日に延期したものの。

■ イプシロンロケット4号機の特徴

- 初めて複数衛星同時打上げ
- 宇宙活動法下における国内初の打上げ

■ 搭載衛星

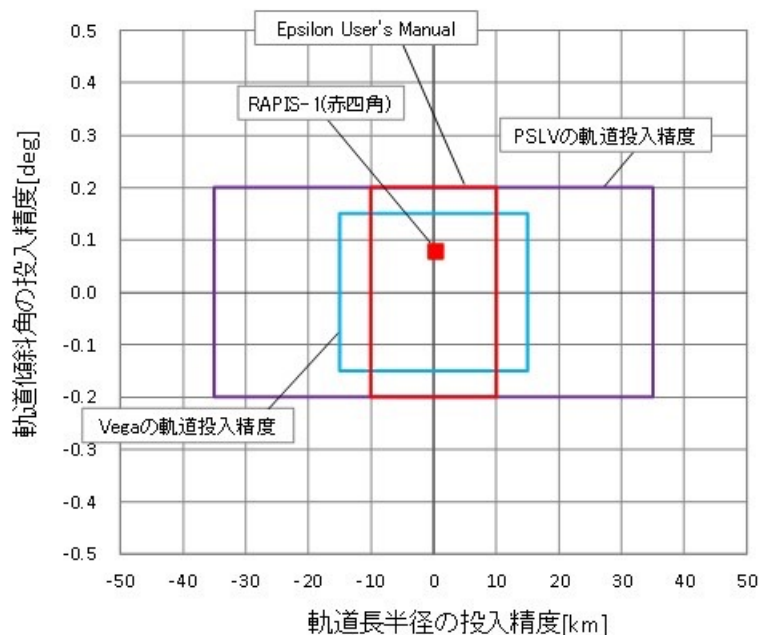
革新的衛星技術実証1号機(以下から構成)

- 小型実証衛星1号機: RAPIS-1
- 超小型衛星: MicroDragon、RISESAT、ALE-1
- キューブサット: OrigamiSat-1、Aoba VELOX-IV、NEXUS



4号機の打上げ結果

■ 革新的衛星技術実証1号機(7基)を高い軌道投入精度で太陽同期軌道に投入した。



RAPIS-1投入軌道誤差(代表例)

- ✓ 軌道長半径誤差: +0.38km
(インタフェース値±20km)
- ✓ 軌道傾斜角誤差: +0.08deg
(インタフェース値±0.2deg)

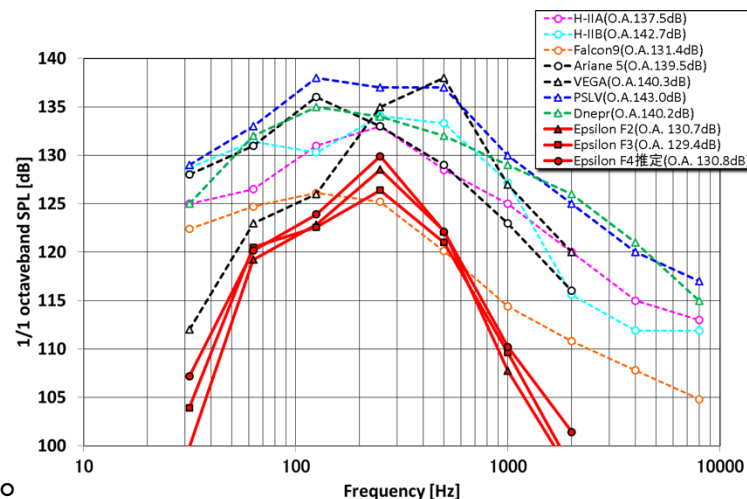
※ 機体の慣性センサ(IMU)から算出した値

※ 各衛星とロケットのインタフェース(軌道長半径、離心率等)を7基個別に定め、高精度で投入した。



■ 試験機から3号機までに確立した、コンパクトな打上げ運用(発射管制、点検)、及び世界トップレベルの衛星搭載環境(音響、振動、衝撃)等の技術成果は、本打上げにおいても発揮できた。

■ 各衛星の開発機関からのご意見として、「どのロケットよりもよい環境」、「容易に衛星捕捉できたのは軌道投入精度がよかった証拠」等のユーザ満足度の高いコメントを頂いた。



衛星搭載環境の例(音響)