

C1

ロケットに対するデブリ対策の現状と取組み

Debris mitigation status for rocket upper stage in Japan

○齊藤 靖博, 沖田 耕一 (JAXA)

○Yasuhiro Saito, Koichi Okita (JAXA)

スペースデブリ問題は国連平和利用員会(COPUOS)で対策のガイドラインが示されるなど世界的に加速の流れがある中で、日本のロケットも先導的な立場で取組みを行っている。具体的な取り組みとしては、無害化に加え有用な軌道から早期に退避するなど、「デブリを発生させない」ことが基本方針であるが、ロケット(特に H-IIA など大型)はその大きさ故、再突入時の地上に対する安全性にも配慮する必要がある。本発表では、H-IIB のコントロールドリエントリに代表される H-IIA/B やイプシロンにおけるデブリ対策の現状と新型基幹ロケットや将来型イプシロンなど今後に向けた取組みを紹介する。

ロケットに対するデブリ対策の現状と取組み

2014年12月18日

JAXA 宇宙輸送ミッション本部

宇宙輸送系システム技術研究開発センター

○齊藤靖博、沖田耕一

第6回スペースデブリワークショップ

1

はじめに

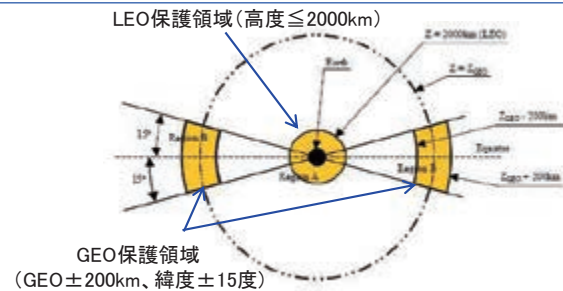
1. 要求
2. 各国の取組み状況
3. H-IIA/Bやイプシロンの現状と対応オプション
4. 将来ロケットに向けたデブリ対策に係る対応オプション
5. ロケット再突入データ取得システムによる解析精度向上の取組み
6. まとめ

2

1. 要求

① デブリ低減のため、運用終了後可能な限り早く保護領域(右上図)から退避させる

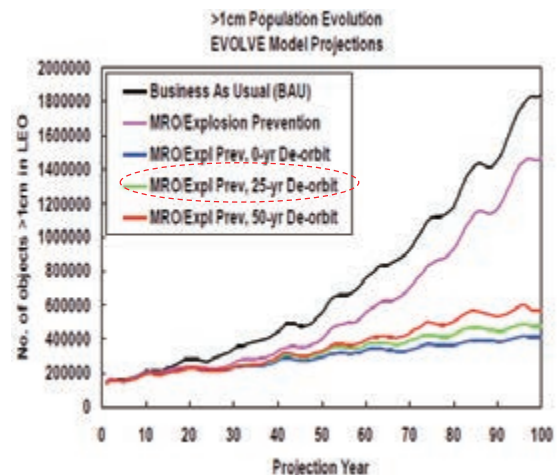
- 国連のガイドライン(参考1)では「早く」に対する数字の明記はないが、IADCや各国の基準には右下図を理由に「**LEO25年**」
- 25年以下に相当する軌道高度は概算<600km



② 再突入物体の地上安全のため、可能な限り安全にリエントリさせる

- 国連のガイドラインやIADCでは数字の明記はないが、欧米では $E_c < 10^{-4}$ を基準としている

なお、軌道上衝突や破碎は本資料の対象外



3

2. 各国の取組み状況(概要)

1. 米国

(1) IADC 25年ルール

- EELV(Delta-IV, Atlas-V)に対し2020年までに25年ルールは100%遵守する方針。Falcon9の商業GTOは3回中2回で25年ルールを満足。
 - Atlas-Vのユーザーズマニュアルには「デブリ低減のための上段廃棄マヌーバを行う」と明記

(2) 再突入リスク対応(傷害予測数 $<10^{-4}$)

- EELVは制御再突入を命じる政策はない。ただし、EELVは9回(+1回の引力圏脱出)/40(保護領域*に投入したミッション)、Falcon9も1回の制御落下実績がある
- オンボード判断の実施については調査中

2. 欧州

(1) IADC 25年ルール

- ロケットデブリを宇宙空間に残さない姿勢を示しており、今後のロケット(Vega, Ariane5ME, Ariane6)では制御再突入を要求し、それが不可能なことが明確なミッションでも25年ルールは遵守する方針
 - 現状のAriane5は、2段再着火できないためATVミッションを除き軌道変更は実施していない

(2) 再突入リスク対応(傷害予測数 $<10^{-4}$)

- (1)のとおり積極的に実施。
- Ariane5やVegaはオンボード判断(ただしテレメータは受信)により制御再突入している

[小型ロケットの動向]

- 上記のVegaが3回中2回の制御落下と1回の寿命短縮マヌーバを行っている以外は実績がない。(ミノタウルス、ドニエプル、ロコット(調査中))

4

2. 各国の取組み状況(一覧)

		ミッション/システム要求		実現方法	実績	計画	源泉
		①25年ルール	②制御再突入				
米国	Atlas5	全てのミッション(将来の話)	余剰能力があれば	?	9回の制御落下、 1回の地球重力圏 脱出	打上げ能力向上を 行い、2020 年までに25 年ルール は遵守	・AIAA 2012- 5333(Aerospac e co.の論文) ・Atlas5ユーザー ズマニュアル
	Delta-IV			?			
	Falcon9	?	?	?	2機のGTOミッシ ョンはいずれも25 年ルール満足(再 突入済) 1機の制御再突入	?	Space Track
欧州	Ariane5 ME	全てのミッシ ョン	機能へのシス テム要求	LOXガスに よる追加推 進系	-	例外を除き 制御再突 入。例外で も25年 ルールは 遵守	・French space operation act (FSOA) ・JAXA/CNES輸 送系共同研究
	Ariane6			TBD(同上 が有力)	-		
	Vega			オンボード 判断による 主エンジン 燃焼	3機のうち ・F1は25年ルール ・F2,3は制御再突 入		

5

3. H-IIA/Bやイプシロンの現状と対応オプション

- H-IIB/HTVの制御落下以外は、競合ロケットの実施状況や能力不足などを踏まえ、デブリ対策用軌道変更は行っていない。H-IIB/HTVは、定期的に打上げられる標準ミッションであり、従来ミッションよりリスクの度合いが高いことなどから制御落下を実施している。
- 要求①②への適合性を下表にまとめた

機体	ミッション	保護領域との干渉	要求①: デブリ低減	要求②: 再突入リスク
H-IIA	従来GTO	250x3.6万km, 28.5deg 	× 100~200年	×
	高度化GTO	2700x36000, 20deg 	- (保護領域に干渉なく必要なし)	-
	SSO	500~800km 	△ 10~300年	×
H-IIB	HTV	200x300km, 51.65deg 	○ (90min)	○
イプシロン	1号機	950x1150km, 31deg 	× ∞	○

- もちろん、破砕防止の観点から残留推進薬の排出(イプシロンのヨータンブラ削除含)は行ってい 6

3. H-IIA/Bやイプシロンの現状と対応オプション

- H-IIAによるコントロールドリエンタリは、GTOでは最大2割／SSOでは最大1~2割程度の打上げ能力ロスとなり、これを許容しても開発と、打上げ費用増など影響がある。さらに能力ロスを回復させるには補助ブースタ開発と装着が必要。
- イプシロンは地球観測など高度600km以下のミッションは軌道寿命が短く(25年以内)、地上落下リスクも小さいことから必要ない。600km以上のミッションに対しては対応が難しい。

機体	ミッション	保護領域との干渉	能力(スペック)	コントロールドリエンタリ実施について		
				能力ロス	能力ロスをさせない方法	開発期間
H-IIA 202 (4S フェアリング)	従来 GTO	250x3.6万km 28.5deg 	4ton	最大2割	SRB-A1本相当追加	3年
	高度化 GTO	2700x36000, 20deg 	2.9ton	保護領域と干渉しないため必要なし(行う場合、3割)	(SRB-A1本相当*追加)	(3年)
	SSO・LEO	500~800km 	5ton@500km~3.9ton@800km	1~2割	SRB-A0.5本相当追加	1年
H-IIB	HTV	200x300km 51.65deg 	16.9ton	対応済	-	-
イプシロン	SSO	500km 	0.5ton	25年以内に落下し、地上落下リスクも低	-	-

4. 将来ロケットに向けたデブリ対策に係る対応オプション

- 世界の動向として25年ルール¹⁾の厳守は必須となりつつある動向を踏まえ、以下の方針案を検討中

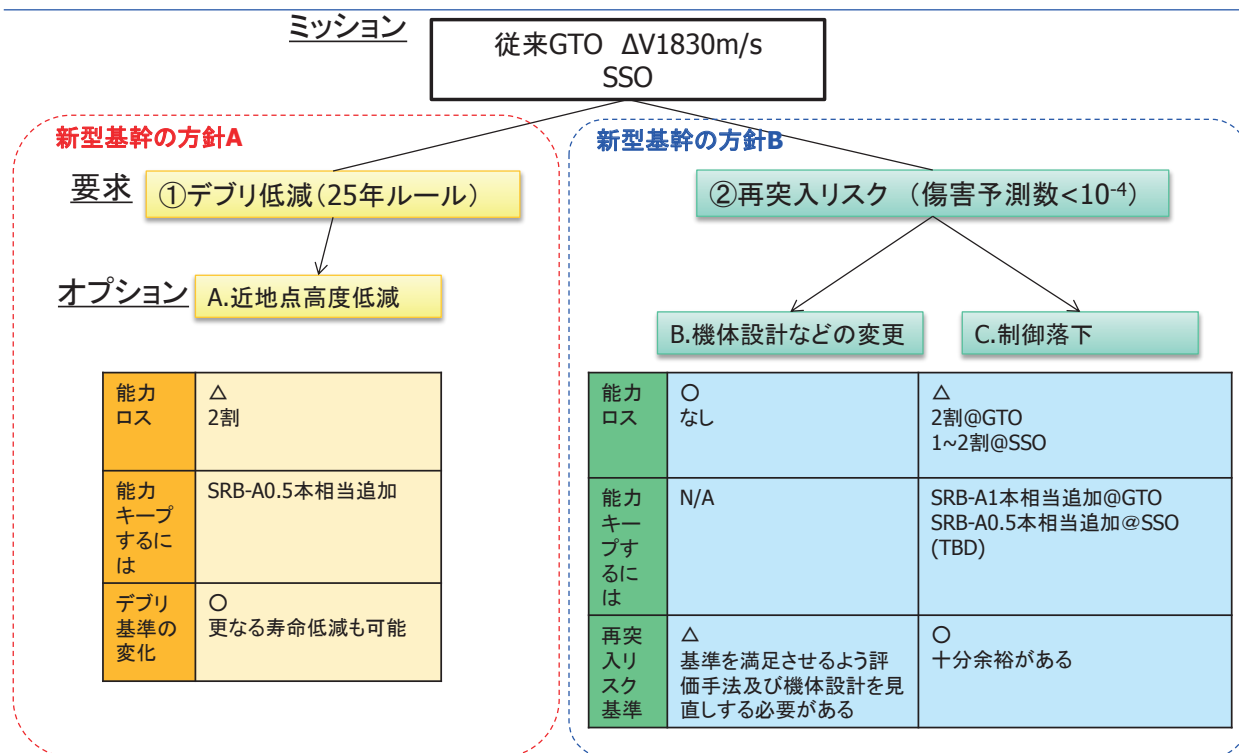
A) すべてのミッションで25年ルールを遵守する

B) 想定される主なミッションで再突入リスク(傷害予測数 $<10^{-4}$)を満足する(機能要求)

これらのマヌーバをオンボード判断*により実施することについても併せて検討する

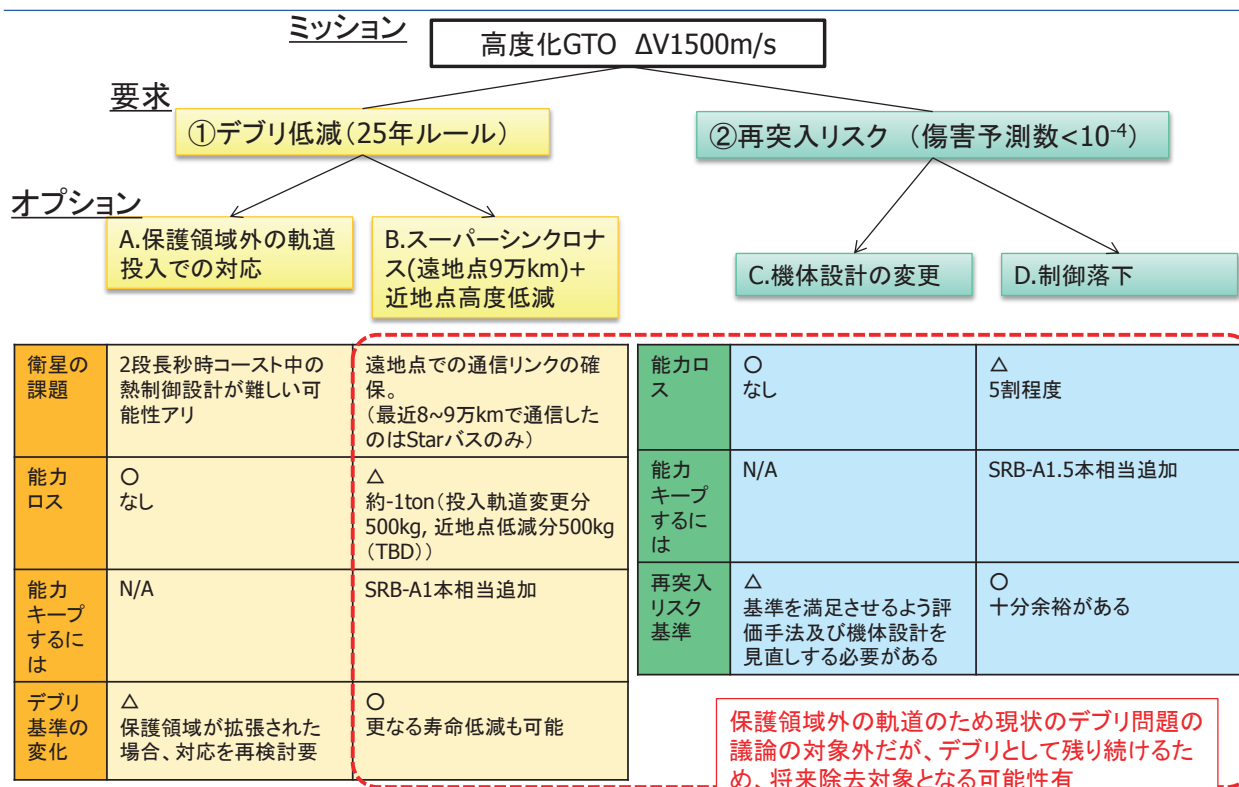
*) 地上システム・運用が必要なくなり、コスト低減に繋がるため有効(欧州はオンボードにより実施している)

4. 将来ロケットに向けたデブリ対策に係る対応オプション



9

4. 将来ロケットに向けたデブリ対策に係る対応オプション

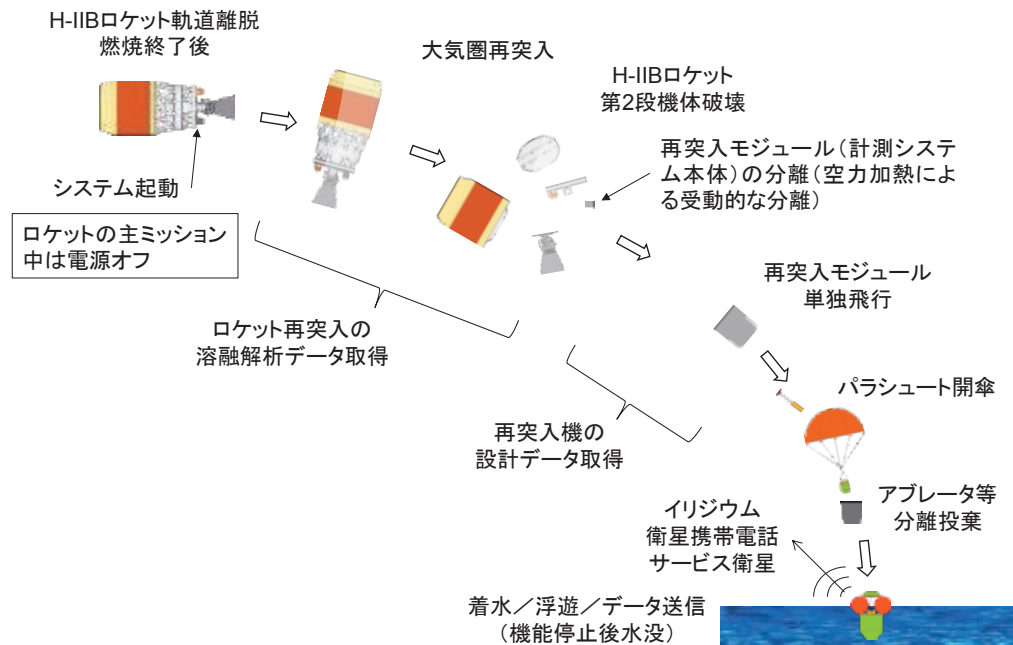


スーパーシンクロナスの能力ロスなどについて詳細検討が必要

10

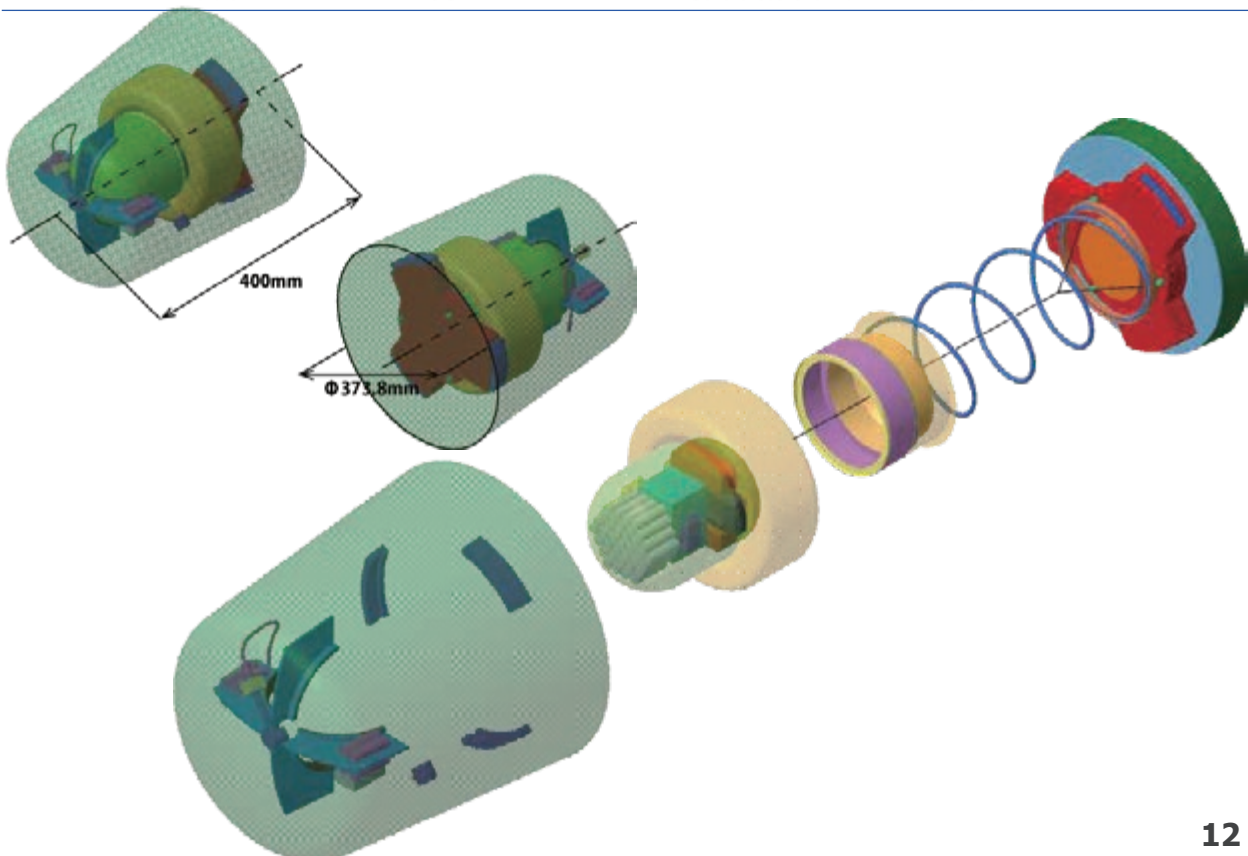
5. ロケット再突入データ取得システムによる解析精度向上の取組み

- ロケットの熔融解析精度向上や再突入技術データ蓄積を目的に“ロケット再突入データ取得システム”の研究を実施中
- ワイヤレスで温度・圧力などを計測し、着水後衛星電話でデータ伝送
- 2016年度に予定されているH-IIB6号機への搭載を目指している



11

5. ロケット再突入データ取得システムによる解析精度向上の取組み



12

5. ロケット再突入データ取得システムによる解析精度向上の取組み

■ 計測仕様案

- 溶融解析結果と臍装性から、下図の4コンポーネント(溶融コンポ2つ、溶融しないコンポ2つ)
- 温度センサ(K型熱電対プローブ)とWSN(wireless sensor network)を一体として、各計測箇所に取り付ける。なお、WSNは断熱材で保護する



6. まとめ

■ デブリ対策で主にロケットに求められることは

- A) 運用終了後可能な限り早く保護領域(右上図)から退避
- B) 再突入の地上リスク低減

■ 欧米のベンチマークから、Aは遵守、Bは対応ミッションが増える傾向

■ 現状のロケットであるH-IIA/Bやイプシロンは、H-IIBの制御落下やイプシロンのヨータンブラ削除など、デブリ対策の取組みを行っている

■ 将来ロケットに向けては、Aは遵守、Bは主なミッションで対応できる、よう開発する方針