

# スペースデブリ対策について

平成28年10月19日

内閣府宇宙開発戦略推進事務局

## 【宇宙基本計画】(平成27年1月9日宇宙開発戦略本部決定)

- n 宇宙基本計画工程表(平成27年1月9日 宇宙開発戦略本部決定、平成27年12月8日改定)には、宇宙産業及び科学技術の基盤の維持・強化に向けたその他の取組として、「宇宙産業・科学技術基盤の維持・強化に向けた取組」が盛り込まれた。
- n 同項目は、宇宙政策委員会が宇宙基本計画の実施に当たって全体最適を追求する観点から、特に重点的に検討を進めてきた29の項目の一つとして、「宇宙政策委員会中間取りまとめ」において、今後の検討深化の方向性が以下の通り示された。

## 【宇宙政策委員会 中間取りまとめ】(平成28年6月30日宇宙政策委員会)

- n スペースデブリ対策について、国際的なルールやガイドライン作りの取組を更に推進するとともに、我が国の技術的な強みを活かせるよう、スペースデブリの低減、観測及びモデル化に関する研究開発、技術基準等を組み合わせた効果的な対策について関係府省等との役割分担も踏まえ検討を行い、今年度の工程表改訂に反映する。

# 実施すべき事項

- n 宇宙基本計画及び「宇宙政策委員会 中間取りまとめ」を踏まえ、「宇宙産業・科学技術基盤の維持・強化に向けた取組」として、以下の取組を宇宙基本計画工程表に盛り込む。

## 国際的なルールやガイドライン作りの取組の推進

〔外務省等〕

## 国際標準への対応

## スペースデブリの低減、観測及びモデル化に関する研究開発

〔文部科学省等〕

## 宇宙活動法案 における技術基準の検討

〔内閣府〕

：正式には「人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律案」

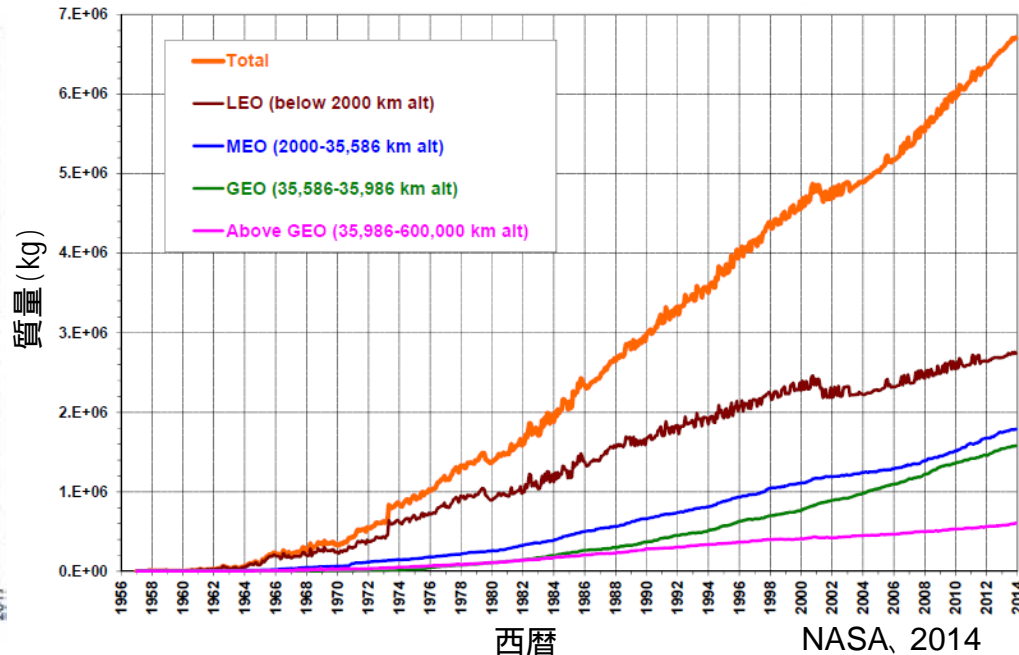
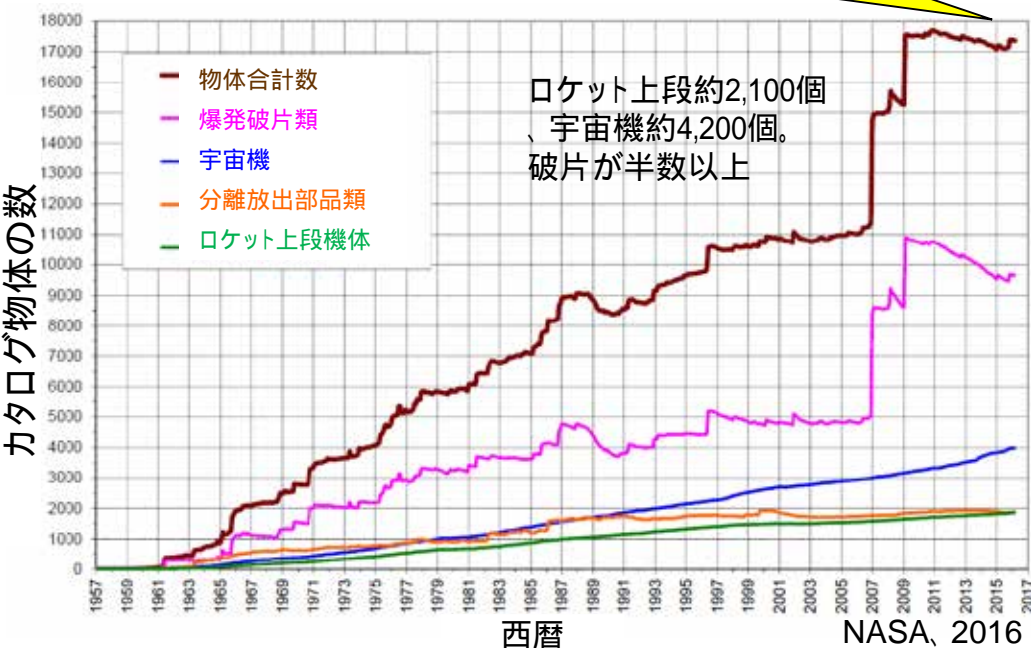
【参考：「宇宙政策委員会 中間取りまとめ」との対応】

- スペースデブリ対策について、国際的なルールやガイドライン作りの取組を更に推進するとともに、我が国の技術的な強みを活かせるよう、スペースデブリの低減、観測及びモデル化に関する研究開発、技術基準等を組み合わせた効果的な対策について関係府省等との役割分担も踏まえ検討を行い、今年度の工程表改訂に反映する。

# デブリの状況

- n デブリの数は、近年、衛星破壊実験(2007年)、衛星衝突事故(2009年)等もあり急激に増加
  - 米国は、低軌道上約10cm以上、静止軌道上約1m以上の計約23,000個を追跡
  - 地上からの観測やモデリングにより1cm以上50~70万個、1mm以上1億個以上と推測
  - 1957年以降打ち上げ約5,000回、爆発200回以上、カタログ物体同士の衝突4回
- n 統計的な予測としてデブリは増加する事が予測されている
- n 衝突すれば多数の破片デブリの発生源となる混雑軌道の大型デブリ除去を目指した取組が各国で進められている。

2016年10月現在17,833個

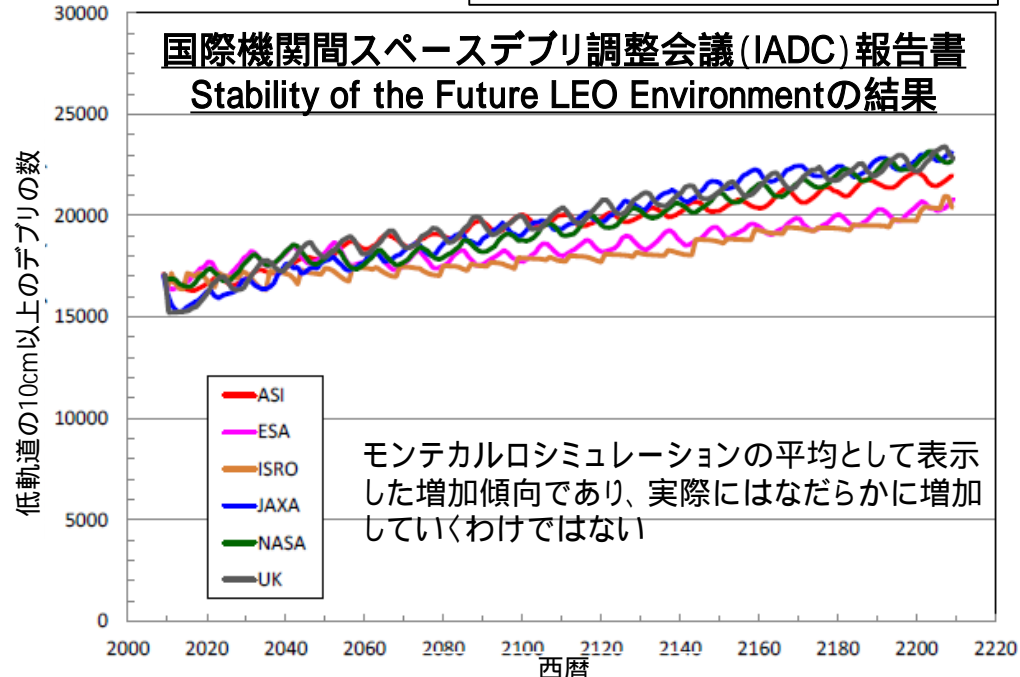


カタログ物体: 地上観測により起源が同定・追跡されている物体 (米国はそれ以外も含め約23,000個を追跡 (JSpOC, 2015))

# (参考) デブリの現状 -除去の必要性-

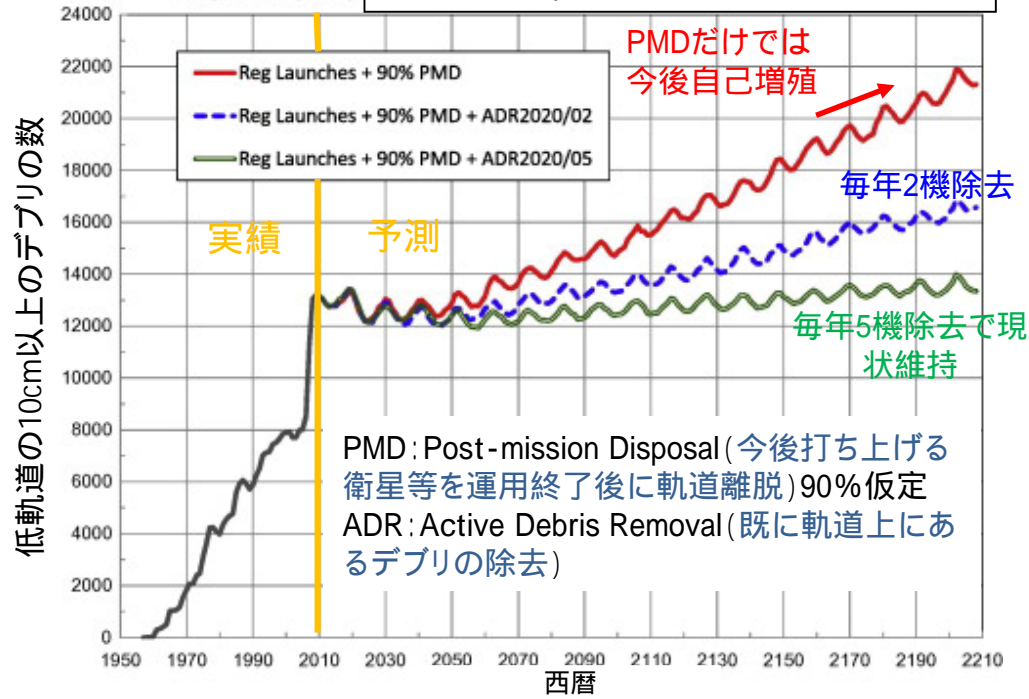
- デブリの自己増殖(ケスラーシンドローム)
  - 統計的な予測としてデブリは増加する事が予測されている (左図参照)
- 混雑軌道の大型デブリを年間5~10個程度除去すれば現状レベルを維持できると予測
  - 数mm~数cmの破片デブリは衝突回避も防御もできない上、微小デブリ除去は効率が悪いいため、その発生源の除去が必要 (右図参照)

出展:  
IADC-12-08, Rev. 1, Stability of the Future LEO Environment, January 2013.



-爆発なし・PMDの成功確率90%、としても、高度700~1000km付近で5年から9年に一度壊滅的衝突が発生

出展:  
Liou, J.-C., An Active Debris Removal Parametric Study for LEO Environment Remediation, Advances in Space Research, 2011.



-90%のPMDに加え、年間5機ずつ混雑軌道の大型デブリを除去すれば環境が維持できるとの検討結果  
-除去開始が遅れると、衝突回避も防御も除去もできない微小デブリが増加

# 国際的なルールやガイドライン作りの取組の推進

- n 国際的なルールやガイドライン作りの取組をさらに推進すべく、文部科学省/JAXAが実施する研究開発等国内外の研究開発動向等も踏まえ、以下に取り組む。
- 国連の宇宙空間平和利用委員会(COPUOS)科学技術小委員会での、スペースデブリ問題への対策を含む、**宇宙活動を長期的に持続可能な形で行うためのガイドラインの制定を目指した議論を推進する。**
  - 二国間・多国間での、宇宙物体の破壊やスペースデブリを発生させるおそれのある活動の自制に関する議論を推進する。

## 参考：スペースデブリ問題に関する国際ルール検討状況

- 2002年から、スペースデブリの発生抑制を目的としてCOPUOS<sup>1</sup>で「スペースデブリ低減ガイドライン」が議論され、2007年に採択された。
- 2010年、COPUOSの科学技術小委員会のもとに「宇宙活動の長期的持続可能性」作業部会が設置され、スペースデブリ問題への対策を含む、宇宙活動を長期的に持続可能な形で行うためのガイドラインの制定を目指して議論が行われている。(2016年6月、スペースデブリ監視情報の収集、共有等を促進する内容を含む一部のガイドラインについて合意。)
- また国連外では、宇宙物体の破壊やスペースデブリを発生させるおそれのある活動の自制といった内容を含む「宇宙活動に関する国際行動規範」(ICOC<sup>2</sup>)を作成する議論も多国間で行われている。

1 COPUOS : Committee on the Peaceful Uses of Outer Space

2 ICOC : International Code of Conduct for Outer Space Activities



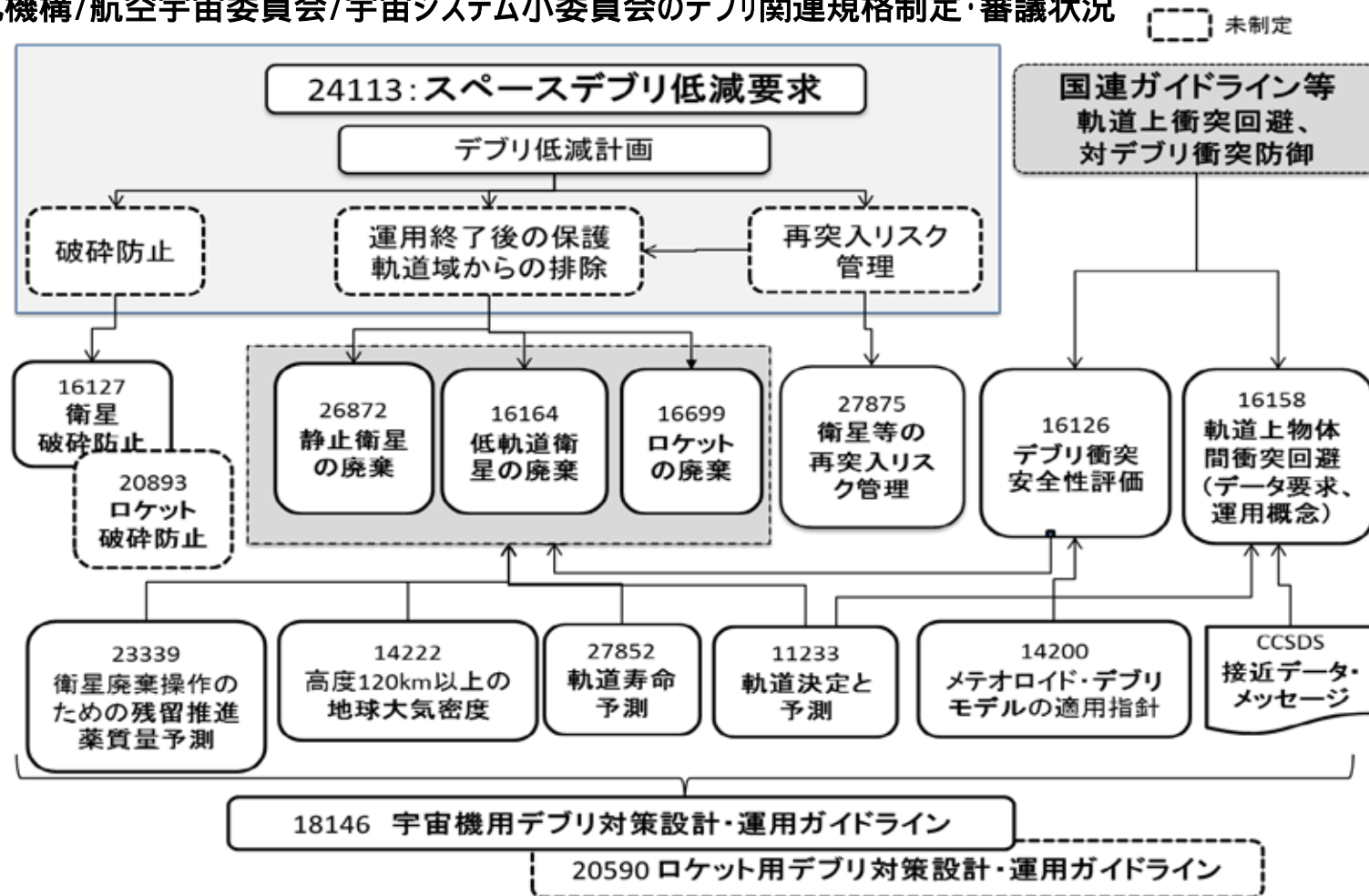
# (参考) デブリ低減指針の国際比較

		低減策	JAXA (JMR-003B)	ISO (ISO24113及び関連規格)	IADC ガイドライン
仕用品 運放		部品類放出抑制			
		固体モータ残渣物			
		火工品	燃焼生成物 < 1mm	燃焼生成物 < 1 mm	
		二次デブリの発生			
軌道上破砕		破壊行為禁止			
		運用中の事故	破砕発生率 < 10 <sup>-3</sup>	破砕発生率 < 10 <sup>-3</sup>	
		残留推薬放出、バッテリーの処置、圧力容器			
衝突		大型物体衝突対策	(CAM, COLA)		
		小型物体衝突対策			
運用終了後の処置	静止軌道	リオービット距離	235 km+ (1,000・Cr・A/m) 離心率<0.003 条件付成功確率>0.9 100年間不干涉	235 km+ (1,000・Cr・A/m) 離心率<0.003 条件付成功確率>0.9 100年間不干涉	235 km+ (1,000・Cr・A/m) 離心率<0.003
		GEO下側保護域	-200 km以下		-200 km
		保護域緯度範囲	-15<緯度<15 deg		-15<緯度<15 deg.
	低軌道・ 中高度軌道	軌道滞在期間短縮	25年以内 成功確率>0.9	残存<25年 成功確率>0.9	推奨(25年以内を引用)
		墓場軌道への移動			言及せず
		軌道上回収			
		再突入時地上被害			
	その他	テザー			

# 国際標準への対応

- n ISO(世界標準化機構)において、2003年にデブリ専門の分科会を設け、ISO-24113「デブリ低減要求」等を制定。ひきつづき種々のデブリ対策規格について制定に向けて審議中。
- n 日本は日本工業標準調査会(JISC)の承認により、SJAC(日本航空宇宙工業会)が国内審議団体として参加している。

国際標準化機構/航空宇宙委員会/宇宙システム小委員会のデブリ関連規格制定・審議状況





# スペースデブリの低減、観測及びモデル化に関する研究開発

## n スペースデブリ低減技術の研究開発(文部科学省/JAXA)

ロケットや衛星から新たなデブリを発生させない低減技術の研究  
- ミッション終了後デオービットや制御落下など

デブリ除去技術の研究

- 非協力物体への接近・捕獲・軌道降下などの要素技術など  
(このとり6号機で導電性テザーの伸展特性、電流駆動特性の取得を目指した実証実験を予定)

## n スペースデブリの観測及びモデル化に関する研究開発(文部科学省/JAXA)

国内のデブリ観測(地上、軌道上)の高度化に資する研究

- より小さな物体の観測、多数物体観測、形状・姿勢運動・物体特性の推定など

効率的なデブリ衝突回避や防御設計などに資する研究

- 精確な軌道予測・接近解析、再突入予測精度向上や、高速衝突時に対する防御性能向上など

デブリモデル高度化に資する研究

- 現在及び将来のデブリ分布(サイズ・数・軌道)の精度向上や、デブリ衝突確率解析、デブリ対策有効性評価のためのモデル化技術高度化など

## 参考

n 他の研究開発法人や大学、民間企業によるデブリ除去に関する研究開発も行われている。

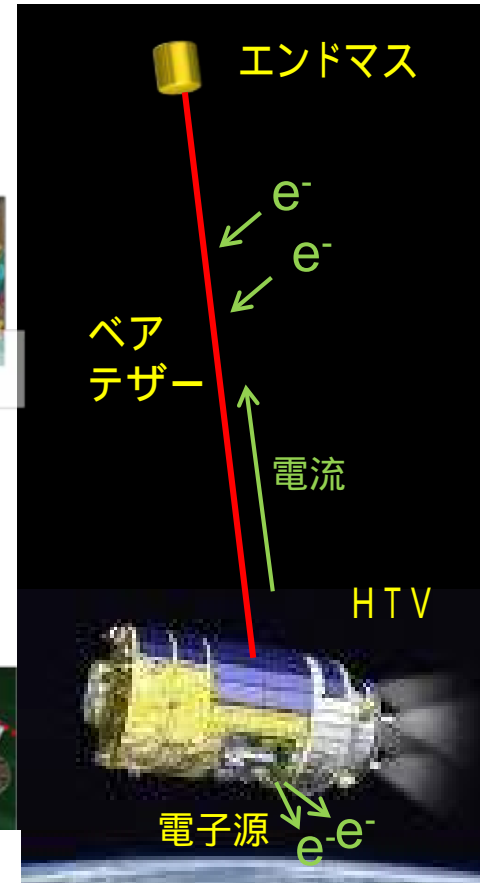
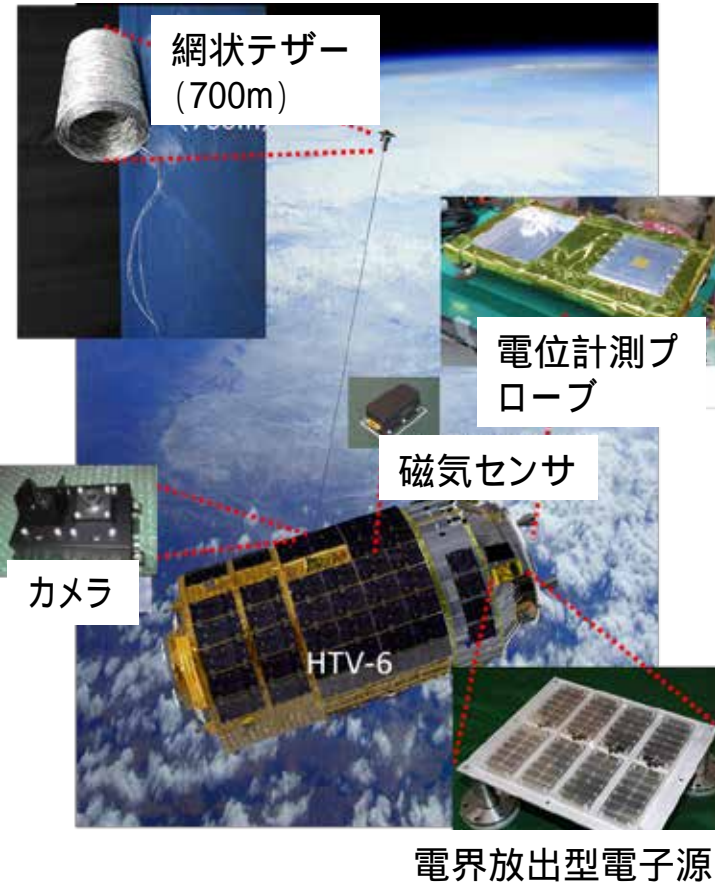
(平成28年5月19日 宇宙産業・科学技術基盤部会 JAXAプレゼン資料「スペースデブリの現状及びスペースデブリ低減に係る研究開発状況」より内閣府作成)

# (参考) HTV搭載導電性テザー実証実験

低コスト・早期のデブリ除去技術獲得を目指し、その最初のステップとして、このとり6号機で導電性テザー (EDT) の伸展特性、電流駆動特性の取得を目指した実証実験 (KITE) を予定。

## ミッション主要諸元

項目	暫定値 (調整中)
軌道	ISS軌道下方20km以上 (高度300 ~ 400km円軌道、傾斜角52°)
ミッション期間	7日程度
テザー長	700 m
テザー電流	最大10 mA
ミッション機器質量	44 kg (エンドマス: 20 kg、HTV側: 24 kg)
ミッション機器電力	37.5 W (エンドマス: 0 W、HTV側: 37.5 W)






(平成28年5月19日 宇宙産業・科学技術基盤部会 JAXAプレゼン資料「スペースデブリの現状及びスペースデブリ低減に係る研究開発状況」より内閣府作成)

# (参考) スペースデブリ除去方法に係る世界の研究動向(1/3)

- 衝突すれば多数の破片デブリの発生源となる混雑軌道の大型デブリ除去を目指した取組が進められている。

国・機関等	状況	除去方式
ESA	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヨーロッパ産業界の優位性確保を目指し“CleanSpace”イニシアチブの中で、各要素技術試験や観測衛星“Envisat”除去システム検討を実施(デブリ除去€15-20Mの資金)</li> <li>デブリ除去実証“e.Deorbit”(2022年頃)や捕獲実証“Captare”(2021年頃)等を検討。2016年12月に閣僚級会議に付議予定。</li> </ul> <p>出典: <a href="http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering/Clean_Space">http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering/Clean_Space</a>他</p>	<p>ロボットアーム、テントクル(触手)、網、鉤等様々な捕獲形式、従来型推進やイオンビーム照射等様々な軌道変換方式を検討</p>  <p>©ESA</p>
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seventh Framework Programme (FP7)等で多数の資金源： <ul style="list-style-type: none"> <li>- RemoveDEBRIS (英サリー大他、€13M)</li> <li>- BETs (導電性テザー、マドリド工科大他、€2M)</li> <li>- LEOSWEEP (イオンビーム照射、欧企業他、€2M)</li> </ul> </li> <li>小型衛星を用いた網や鉤による捕獲等の部分実証“RemoveDEBRIS”は2017年6月ISSきぼうから放出予定。</li> </ul> <p>出典: <a href="http://ec.europa.eu/enterprise/policies/space/research/fp7-projects/#h2-5">http://ec.europa.eu/enterprise/policies/space/research/fp7-projects/#h2-5</a>他</p>	<p>“RemoveDEBRIS”は小型衛星による網・鉤・膜面展開等の部分実証。その他左記等の様々な方式を検討</p>  <p>RemoveDEBRIS ©Surrey大      © LEOSWEEP</p>
DLR	<ul style="list-style-type: none"> <li>ESAと協力してロボットアームによるデブリ除去を検討中</li> <li>2016年小型衛星による非協力接近実証“AVANTI”予定</li> </ul> <p>出典: <a href="http://www.dlr.de/dlr/presse/en/desktopdefault.aspx/tabid-10172/213_read-5173/">http://www.dlr.de/dlr/presse/en/desktopdefault.aspx/tabid-10172/213_read-5173/</a>他</p>	<p>ロボットアーム</p>  <p>DEOS      AVANTI ©DLR</p>



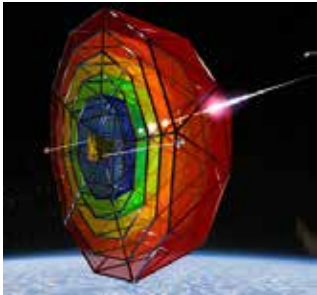
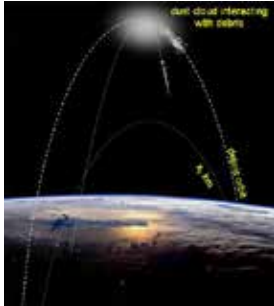
# (参考) スペースデブリ除去方法に係る世界の研究動向 (2/3)

国・機関等	状況	除去方式
<p>米国</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>NASAは2011年”EDDE”地上試験に\$1.9M資金提供</li> <li>2015年NASA長官は外交問題評議会にてデブリ除去の必要性に言及</li> <li>NRLはEDT実証”TEPCE”を2016年打上予定</li> <li>DARPAは静止軌道上サービス”Phoenix”検討</li> </ul> <p>出典: <a href="http://www.spacesafetymagazine.com/2012/03/13/electrodynamic-debris-eliminator-receives-funding/">http://www.spacesafetymagazine.com/2012/03/13/electrodynamic-debris-eliminator-receives-funding/</a> 他</p>	<p>ロボットアームによる捕獲、網による捕獲等が提案されているが方式は絞り込んでいない段階</p>  <p>©NASA ©Star Inc.</p>
<p>アストロスケール(+東大、理科大、由紀精密等)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(民間)デブリ除去を目的に2013年に設立されたASTROSCALE社はベンチャーキャピタル等から2015年\$87.7M、2016年\$35Mの資金獲得</li> <li>微小デブリ観測衛星”IDEA OSG-1”は2017年頃、デブリ除去実証衛星”ADRAS-1”は2018年頃の実証を計画</li> </ul> <p>出典: <a href="http://astroscale.com/">http://astroscale.com/</a> 他</p>	<p>接着剤による捕獲、固体モータ</p>  <p>IDEA OSG-1 ADRAS-1 ©Astroscale</p>
<p>スイスローザンヌ工科大他</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(大学)キューブサットによる”CleanSpace One”を提案</li> <li>S3による打上機会と15Mスイスフラン獲得し、2018年打上予定</li> </ul> <p>出典: <a href="http://espace.epfl.ch/CleanSpaceOne_1">http://espace.epfl.ch/CleanSpaceOne_1</a> 他</p>	<p>テンタクル(触手)による捕獲</p>  <p>©EPFL</p>
<p>その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2016~25年までのロシア連邦宇宙計画で108億ルーブル(約310億円)の計画を発表。2025年までのデブリ除去機の打上を想定</li> <li>カナダ宇宙機関は2011年10月デブリ除去のシステム検討に2社を選定(各\$25万)</li> <li>中国航天科技集团公司(CASC)中国ロケット技術研究院(CALT)においてデブリ除去ロボット研究</li> </ul>	<p>詳細は不明</p> <p>出典: <a href="http://en.ria.ru/russia/20140822/192246925/Roskosmos-Intends-to-Spend-108-Billion-Rubles-on-Removing.html">http://en.ria.ru/russia/20140822/192246925/Roskosmos-Intends-to-Spend-108-Billion-Rubles-on-Removing.html</a>  <a href="http://www.asc-csa.gc.ca/eng/media/news_releases/2011/1027.asp">http://www.asc-csa.gc.ca/eng/media/news_releases/2011/1027.asp</a>          他</p>



# (参考) スペースデブリ除去方法に係る世界の研究動向 (3/3)

- 除去衛星による大型デブリ除去以外にも、様々な手法が提案されている

手法	除去方式および状況	検討例
レーザー	<ul style="list-style-type: none"> <li>地上あるいは軌道上からレーザー照射し、アブレーションにより軌道変換。現状技術的に小型のみ対応可が多い。衝突回避だけをするアイデアもあり</li> <li>1990年ごろから提案されていたが、2015年ワークショップ開催等、研究活発化</li> <li>”ORION”(NASA)、理研等</li> </ul> 出典: <a href="http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19960054373.pdf">http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19960054373.pdf</a> <a href="http://fas.org/spp/starwars/program/sbl.htm">http://fas.org/spp/starwars/program/sbl.htm</a> <a href="http://www.riken.jp/pr/press/2015/20150421_2/">http://www.riken.jp/pr/press/2015/20150421_2/</a> 他	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>地上からのレーザー照射 ©ESO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>宇宙機からのレーザー照射 ©Martin Marietta</p> </div> </div> <p style="text-align: right;">出典: Pulliam, Catcher's Mitt Final Report, 2011.</p>
スィーパー (低密度材)	<ul style="list-style-type: none"> <li>巨大な低密度材質を軌道上に放置し、パッシブに衝突したデブリを収集</li> <li>米ATK、九大他</li> </ul> 出典: <a href="http://spacenews.com/atk-proposes-satellite-fight-space-debris/">http://spacenews.com/atk-proposes-satellite-fight-space-debris/</a> 他	<div style="text-align: center;">  <p>©ATK</p> </div>
ダスト等散布	<ul style="list-style-type: none"> <li>密度の重いタングステン粒子等を大量に軌道にばら撒き、衝突した小型デブリを軌道降下させる</li> <li>米Naval Research Laboratory他</li> </ul> 出典: <a href="http://www.nrl.navy.mil/media/news-releases/2012/nrl-scientists-propose-mitigation-concept-of-leo-debris">http://www.nrl.navy.mil/media/news-releases/2012/nrl-scientists-propose-mitigation-concept-of-leo-debris</a> 他	<div style="text-align: center;">  <p>©NRL</p> </div>

# 宇宙活動法案における技術基準の検討

- n 宇宙諸条約の適切かつ円滑な実施、宇宙空間の有害な汚染等の防止、公共の安全の確保、再突入における着地点周辺の安全確保等を目的として、人工衛星の管理について技術基準を検討する。
- n 技術基準は「人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律」案の第二十二条に基づくもので、国際的な指針(IADCガイドライン等)との整合性を図りつつ、産業界への過度な負担にならないよう、民間企業等の意見も踏まえ、宇宙政策委員会にて検討を行う。
- n 技術基準では、スペースデブリを抑制する構造設計、管理方法、終了措置等を講じることを求める。

参考:「人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律案」第二十二条第二号(抜粋)

人工衛星の構造が、その人工衛星を構成する機器及び部品の飛散を防ぐ仕組みが講じられていることその他の宇宙空間探査等条約第九条に規定する月その他の天体を含む宇宙空間の有害な汚染並びにその平和的な探査及び利用における他国の活動に対する潜在的に有害な干渉(次号及び第四号二において「宇宙空間の有害な汚染等」という。)の防止並びに公共の安全の確保に支障を及ぼすおそれがないものとして内閣府令で定める基準に適合するものであること



# (参考) 人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律案

## n 「人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律案」の第二十二条

内閣総理大臣は、第二十条第一項の許可の申請が次の各号のいずれにも適合していると認めるときでなければ、同項の許可をしてはならない。

- 一 人工衛星の利用の目的及び方法が、基本理念に則したものであり、かつ、宇宙の開発及び利用に関する諸条約の的確かつ円滑な実施及び公共の安全の確保に支障を及ぼすおそれがないものであること。
- 二 人工衛星の構造が、その人工衛星を構成する機器及び部品の飛散を防ぐ仕組みが講じられていることその他の宇宙空間探査等条約第九条に規定する月その他の天体を含む宇宙空間の有害な汚染並びにその平和的な探査及び利用における他国の活動に対する潜在的に有害な干渉(次号及び第四号二において「宇宙空間の有害な汚染等」という。)の防止並びに公共の安全の確保に支障を及ぼすおそれがないものとして内閣府令で定める基準に適合するものであること。
- 三 管理計画において、他の人工衛星との衝突を避けるための措置その他の宇宙空間の有害な汚染等を防止するために必要なものとして内閣府令で定める措置及び終了措置を講ずることとされており、かつ、申請者(個人にあっては、死亡時代理人を含む。)が当該管理計画を実行する十分な能力を有すること。
- 四 終了措置の内容が次のイからニまでのいずれかに該当するものであること。
  - イ 人工衛星の位置、姿勢及び状態を制御することにより、当該人工衛星の高度を下げて空中で燃焼させること(これを構成する機器の一部を燃焼させることなく地表又は水面に落下させて回収することを含む。)であって、当該人工衛星の飛行経路及び当該機器の一部の着地又は着水が予想される地点の周辺の安全を確保して行われるもの
  - ロ 人工衛星の位置、姿勢及び状態を制御することにより、当該人工衛星の高度を上げて時の経過により高度が下がることのない地球を回る軌道に投入することであって、他の人工衛星の管理に支障を及ぼすおそれがないもの
  - ハ 人工衛星の位置、姿勢及び状態を制御することにより、当該人工衛星を地球以外の天体を回る軌道に投入し、又は当該天体に落下させることであって、当該天体の環境を著しく悪化させるおそれがないもの
  - ニ イからハまでに掲げる措置を講ずることができない場合において、誤作動及び爆発の防止その他の宇宙空間の有害な汚染等を防止するために必要なものとして内閣府令で定める措置を講じ、並びに人工衛星の位置、姿勢及び状態を内閣総理大臣に通知した上で、その制御をやめること。