

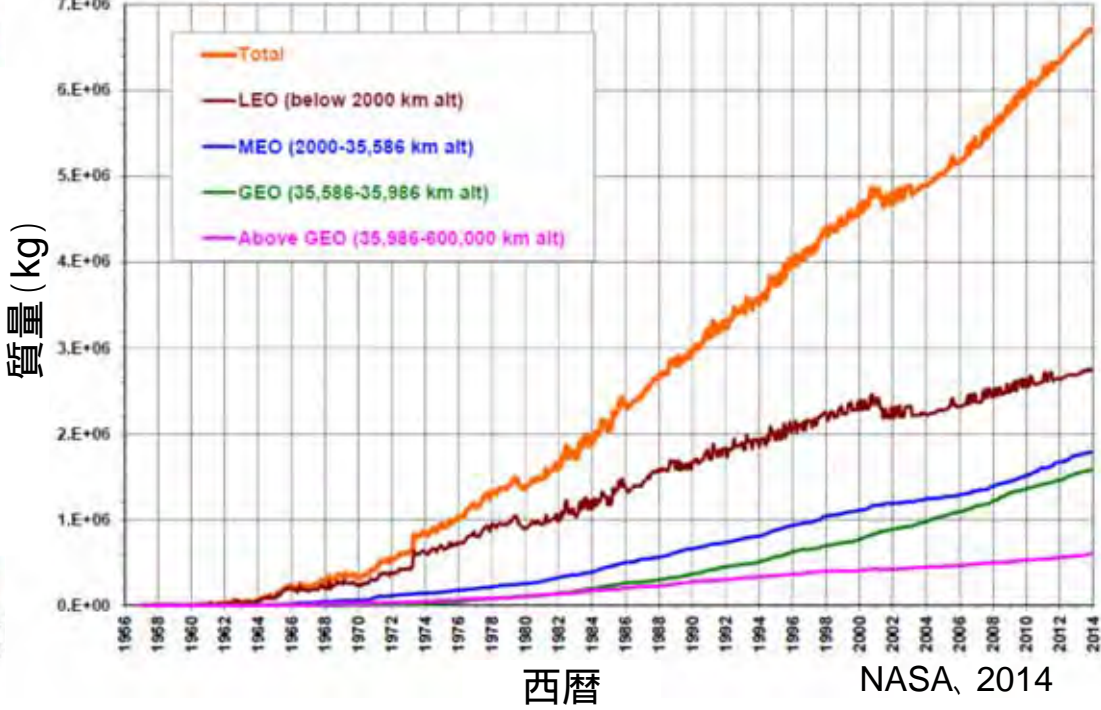
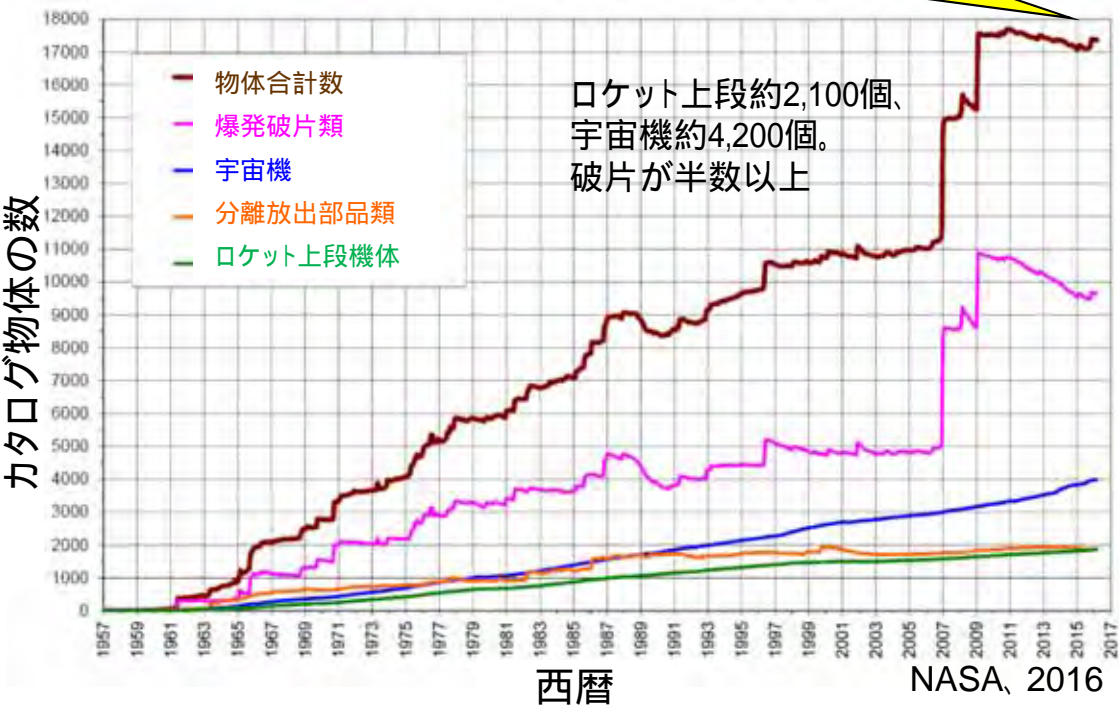
# スペースデブリの現状及び スペースデブリ低減に係る研究開発状況

2016年5月19日  
国立研究開発法人  
宇宙航空研究開発機構

# 1. デブリの現状(1)

- デブリ数変遷: 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、低軌道約10cm以上、静止軌道約1m以上の約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

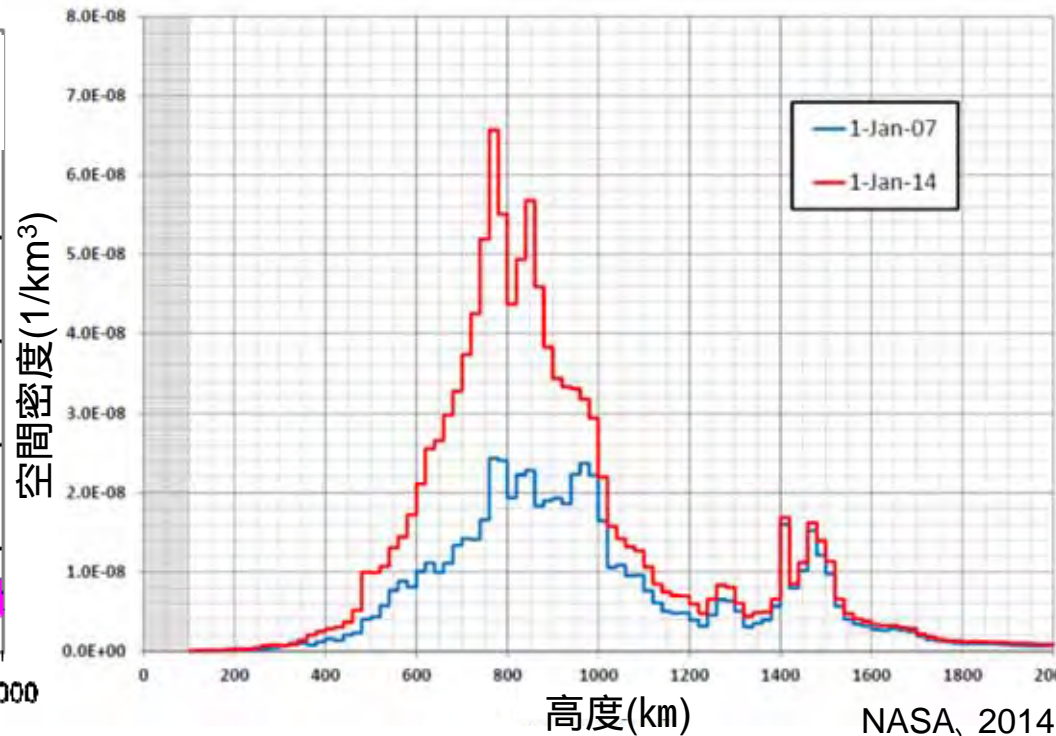
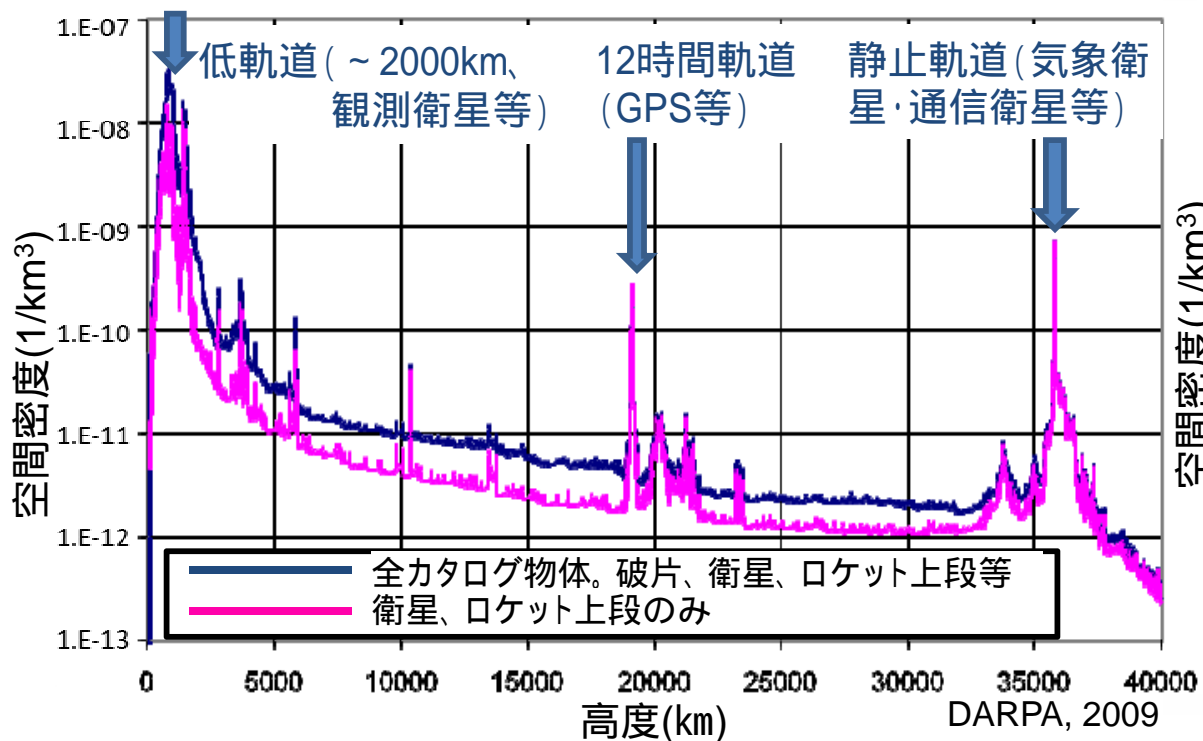
2016年5月現在17,618個



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))

## 1. デブリの現状(2)

- 高度分布: 低軌道(高度2000km以下)、静止軌道、12時間軌道等が混雑(左下図)
- 低軌道では高度700~1000km程度がもっとも混雑(右下図)
- 発生源(国)は下表の通り、露、米、中が約90%を占める。日本は1.3%程度

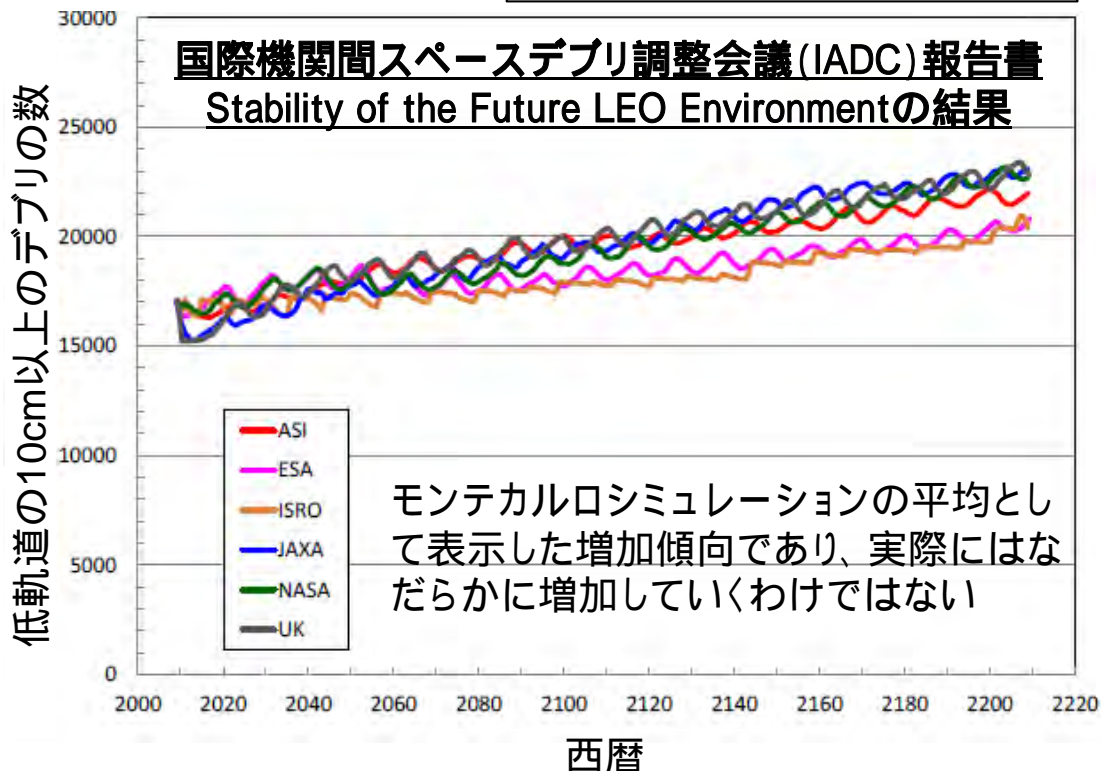


カタログ物体保有数(率)	露	米国	中国	ESA+FR	日本	他国
現行軌道上物体数 + デオービット数	21334(51%)	11512(28%)	5002(12%)	1400(3%)	512(1%)	1695(4%)
現行軌道上物体数	6314(36%)	5479(31%)	3789(22%)	647(4%)	243(1%)	1145(6%)
ペイロード	1509	1259	213	129	153	916
ロケット上段機体	1031	670	98	151	47	67

# 1. デブリの現状 (3) 除去の必要性

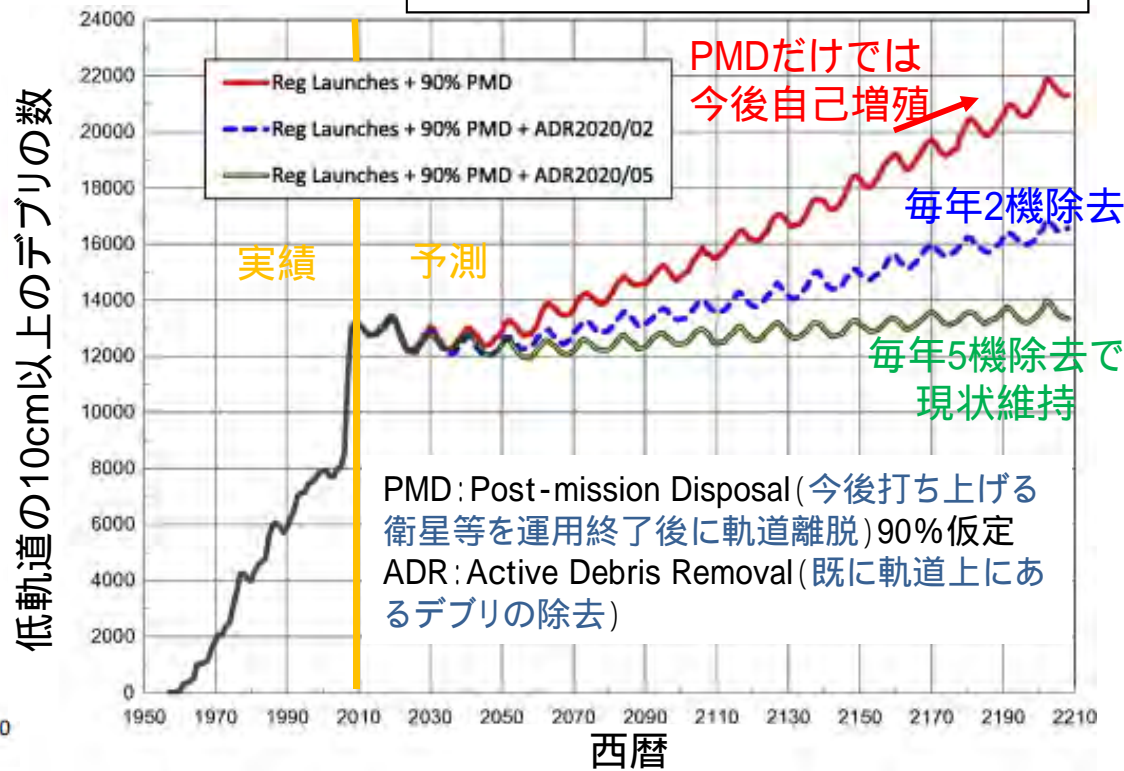
- デブリの自己増殖(ケスラーシンドローム)
  - 統計的な予測としてデブリは増加する事が予測されている (左図参照)
- 混雑軌道の大型デブリを年間5~10個程度除去すれば現状レベルを維持できると予測
  - 数mm~数cmの破片デブリは衝突回避も防御もできない上、微小デブリ除去は効率が悪いいため、その発生源の除去が必要 (右図参照)

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700~1000 km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.



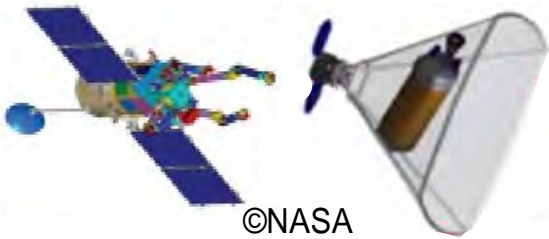

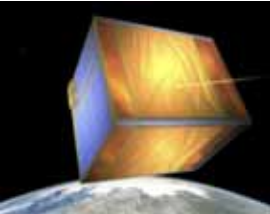

-90%のPMDに加え、年間5機ずつ混雑軌道の大型デブリを除去すれば環境が維持できるとの検討結果  
-除去開始が遅れると、衝突回避も防御も除去もできない微小デブリが増加

## 2.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。欧州を中心に要素技術や衛星の製作、試験中


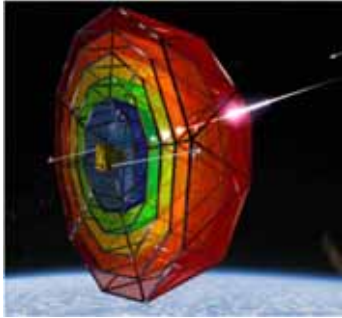
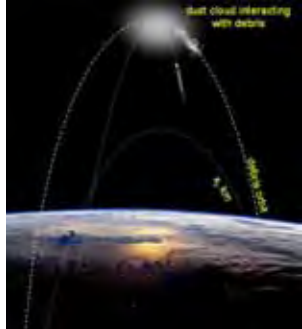
国・機関等	状況	除去方式
ESA	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヨーロッパ産業界の優位性確保を目指し“CleanSpace”イニシアチブの中で、各要素技術試験や観測衛星“Envisat”除去システム検討を実施(デブリ除去€15-20Mの資金)</li> <li>デブリ除去実証“e.Deorbit”(2022年頃)や捕獲実証“Capture”(2021年頃)等を検討</li> </ul> <p>出典: <a href="http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering/Clean_Space">http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering/Clean_Space</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、マドリッド工科大他、€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2016年打上予定</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>

## 2.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
米国	<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> 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	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   ©NASA ©Star Inc.
アストロスケール(+東大、理科大、由紀精密等)	<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> 出典: <a href="http://astroscale.com/">http://astroscale.com/</a> 他	接着剤による捕獲、固体モータ   IDEA OSG-1 ADRAS-1 ©Astroscale
スイスローザンヌ工科大他	<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> 出典: <a href="http://espace.epfl.ch/CleanSpaceOne_1">http://espace.epfl.ch/CleanSpaceOne_1</a> 他	テンタクル(触手)による捕獲  ©EPFL
その他	<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>	詳細は不明 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

## 2.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	 <p>地上からのレーザー照射 ©ESO</p> <p>宇宙機からのレーザー照射 ©Martin Marietta</p> <p>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	 <p>©ATK</p>
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の上にばら撒き、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	 <p>©NRL</p>

### 3. JAXAでの検討の状況(必要要素技術)

- デブリは自由運動をしており、軌道上での捕獲が考慮されていないため、以下の課題がある。

非協力物体(\*)への接近、

近傍作業(運動推定・推進系取付)、

軌道上からの除去等

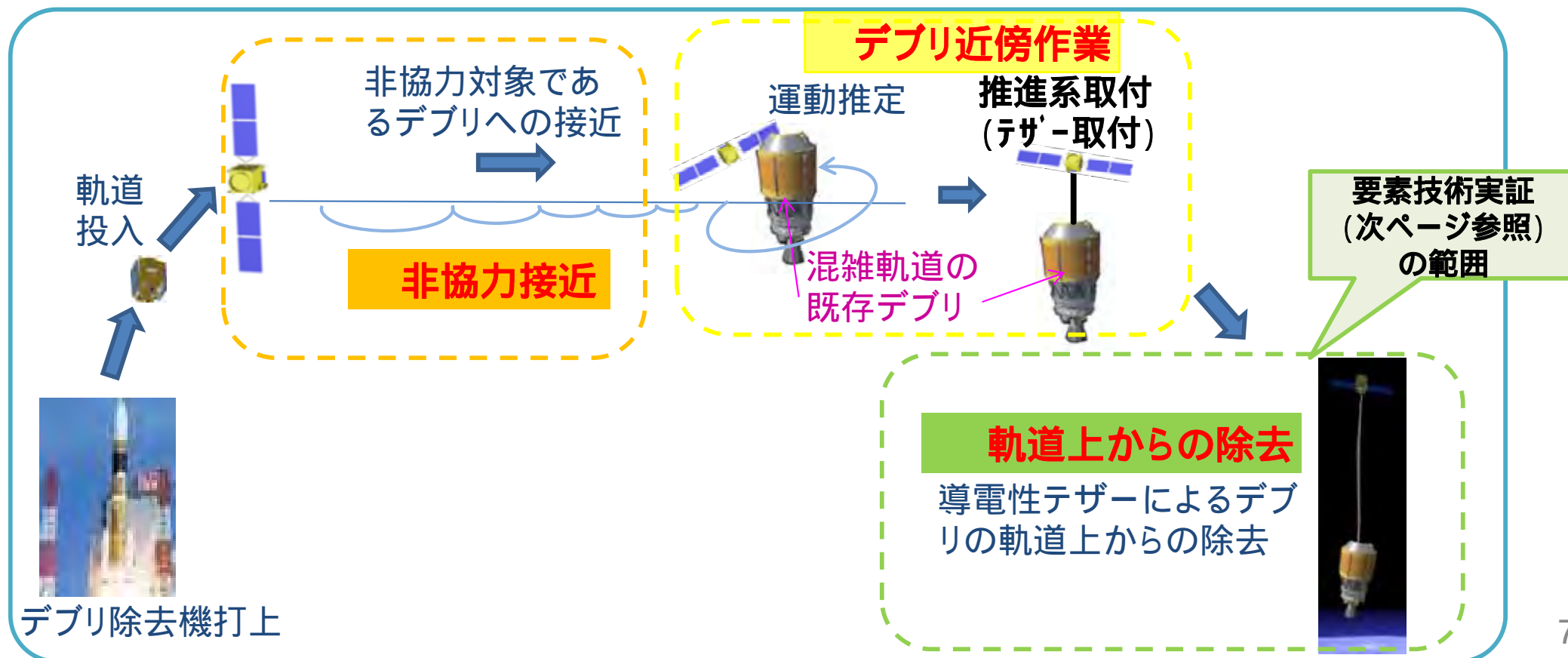
(\*)非協力物体とは、ランデブドッキングを実施するための能力・機器を有さない物体のこと。ランデブドッキング実験を行ったETS- (1997年打上)では、ターゲット衛星、チェイサ衛星双方にドッキングに必要な機器を搭載し、相互に姿勢を制御していた。

- 上記を大型デブリ対象でも低コストで実現するための技術を研究中

光学カメラ等を用いた除去対象への非協力接近技術

高精度の制御を不要とする推進系取付方法(伸展ブーム、銚等)およびそのための相対距離・姿勢推定技術

燃料・大電力不要の導電性テザー(微小推力のため)の推進系取付も難易度低下)等



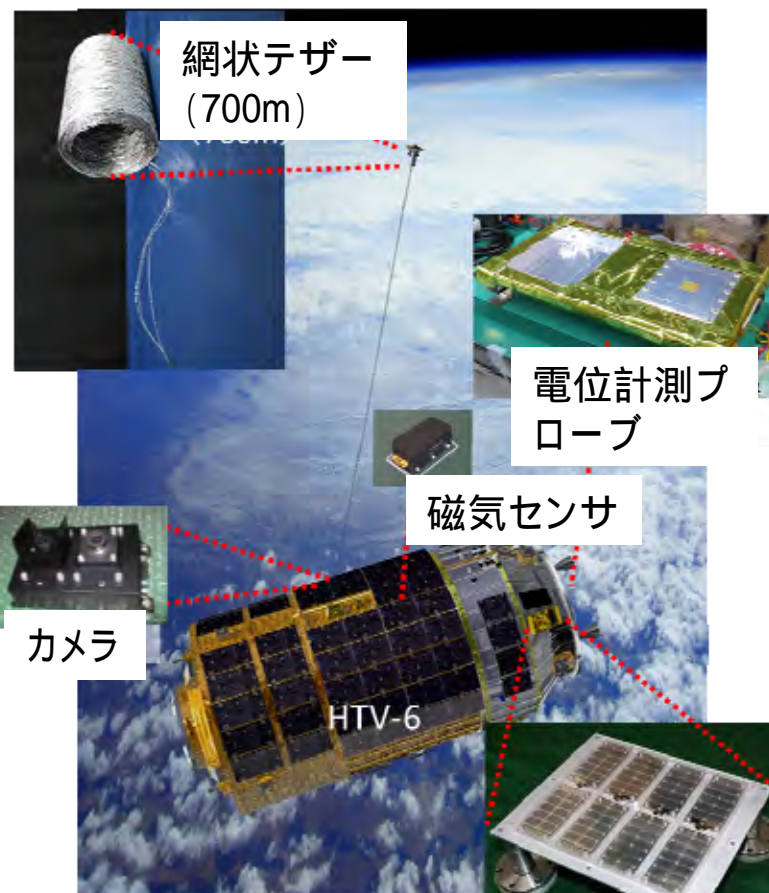


#### 4. KITE (HTV搭載導電性テザー実証実験)

- 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HTVこうのとりの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
  - EDTは、デブリへの取付が他の推進系技術に比して大幅に簡素化が可能、かつ、軌道変換のための燃料が不要な技術であり、デブリ除去衛星システムの概念を大きく変える
  - HTVを有効利用して本要素技術の先行実証を計画
  - デブリ除去に有効な小型軽量の要素技術 (軌道上でのベアテザー伸展・電子収集、電界放出型電子源による電子放出) や、HTVスラストによるテザー振動制御の宇宙実証は世界初

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)



電界放出型電子源