

スペースデブリ対策に向けた 研究開発について

2017年11月13日
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構

スペースデブリ問題の概要

□ スペースデブリ：軌道上の不要な「宇宙ゴミ」の総称

- 使用済み／故障した人工衛星やロケットの上段
- ミッション中に放出した部品（キャップやバンド等）
- 爆発・衝突による破片 ⇒ **最大の危険物**

□ 軌道が追跡されているスペースデブリは約23,000個

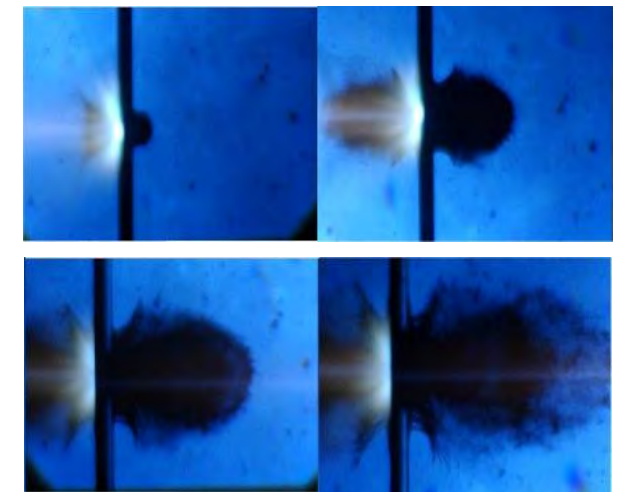
- ある大きさ※以上のデブリは軌道情報が公開
- 宇宙ステーション／宇宙機の衝突回避運用は年100回超。

□ 小さなスペースデブリの数は膨大で危険

- 10mm以上は数十万個、1mm以上は一億個以上
- 宇宙機に対して危険だが、**効果的な対応策は無い**
 - ✓ 衝突速度は約10～15km／秒 （右図参照）
 - ✓ 1mm以下の衝突 ⇒ 宇宙機の故障
 - ✓ 10mm以上 ⇒ ミッション終了につながる破壊
 - ✓ 100mm以上 ⇒ 壊滅的破壊＋大量の破片発生

□ 『デブリ同士を衝突させない』ことが対応策

- より小さなデブリも**監視・回避**できるようにする
- **新規宇宙機のデブリ化を防ぐ**
- 衝突の危険が高い**既存のデブリを除去**する



4.3mmの板に、2.3mmのデブリを
約5km／秒でぶつけた実験

※低軌道で約100mm以上、
静止軌道で約1m以上

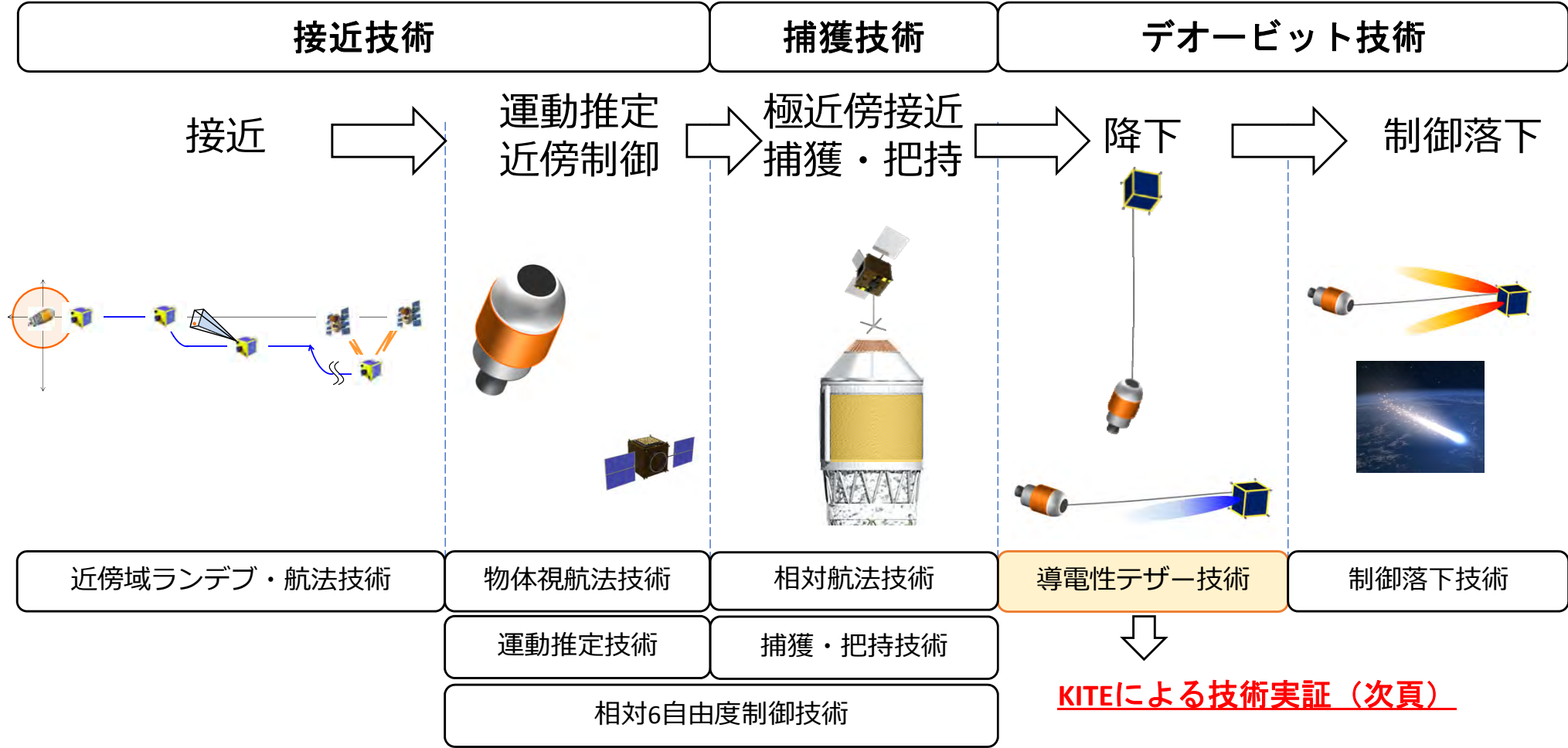
スペースデブリ除去に必要な要素技術

自由運動をしている非協力物体※を捕獲・除去するための技術課題

※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

要素技術を3つのカテゴリに分類

- 「接近技術」「捕獲技術」「デオービット技術」の3つのカテゴリ
- KITE（次頁）で実証を目指した導電性テザー技術はデオービット技術の一部



HTV搭載導電性テザー実証実験（KITE）サマリ

□ 実験目的

- 導電性テザー※を用いたデブリ除去の要素技術の原理実証

※デブリ除去ミッションを構成する技術カテゴリ（前頁）のうちデオービット技術に含まれる要素技術

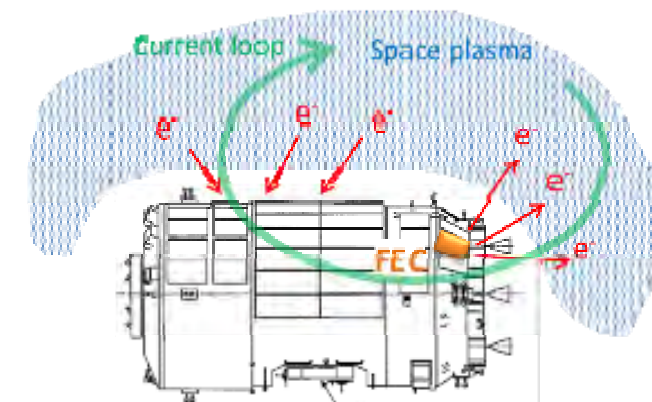
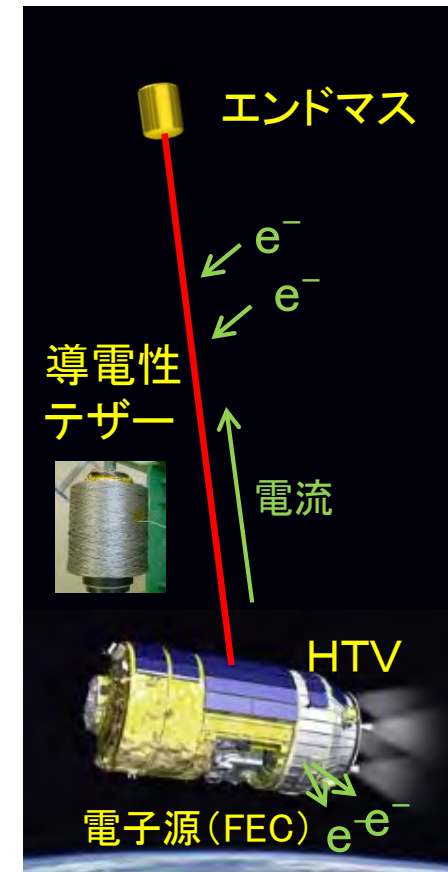
□ 期間：2012年～2016年（5年）

□ 達成状況

- 電子源（FEC）に関しては下記項目が実証された
 - ✓ 電子放出～収集までの電流ループが生成
 - ✓ 電子源制御手法の有効性確認
 - ✓ 8周回以上の電子放出特性の取得（20周回取得）
- 導電性テザーはエンドマス不放出のため、下記項目の実証に至っていない
 - テザー伸展と電流駆動確認
 - テザー振動特性（伸展時、周回時）の取得
 - テザー駆動の電氣的・力学的挙動から、推力を推定

□ 得られた成果

- FECによる電子放出や軌道上環境観測に関する軌道上データは、部分的に当初設定の目標以上。
- 得られた技術知見は、デブリ除去用EDTのみでなく、電気推進、宇宙機帯電緩和、科学ミッション等への適用も期待できる。
- FECによる電子放出やISS接近時/接触時等におけるHTVの帯電データは、低軌道プラズマ環境に関する新たな知見獲得につながる可能性がある。
- 特許5件、査読論文6件



プラズマを介した電流ループ形成メカニズム
※FECが電子放出、※HTV太陽電池陽極が電子収集

国際ルール化に関する活動状況

□ 活動目標

- 国際ルール化について、JAXAはIADCを中心に活動中（参考1）
- 長期：国際ルール・標準案の策定に貢献する。
- 短中期：スペースデブリ削減に効果的な対策技術を提案し、我が国の技術のルール化を狙う。

□ 今年度の国際組織活動の状況

- COPUOS： 外務省からの依頼に基づくLTSに関する支援（技術評価）
 - ISO： JAXAからは委員（専門家）として参加している。
 - IADC：
 - ✓ JAXAは今年度から2018年のIADC年会までの議長に就任※
 - ✓ IAC@Adelaide（2017年9月）におけるIADCの会合で議長として議論を牽引
 - ✓ 2018年のIADC年会におけるホスト役（2018年6月5日～8日@つくば国際会議場）
- ※ 議長国は加盟国による持ち回り。

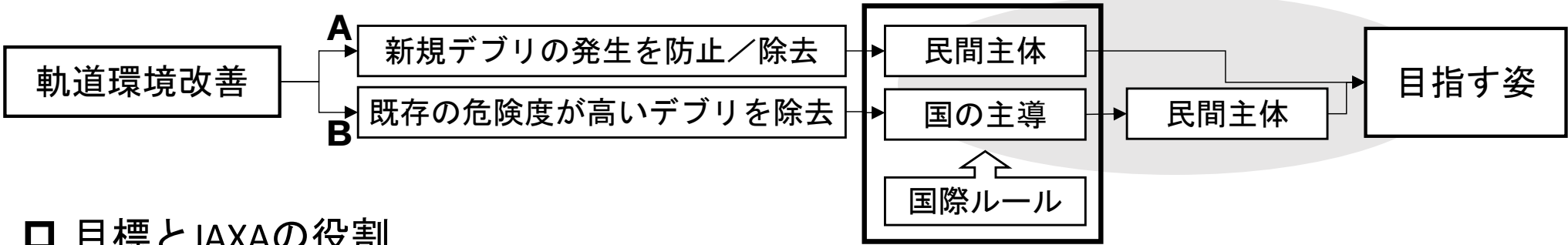
□ IADCについて (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee：宇宙機関間スペースデブリ調整会議)

- IADC は先進国宇宙機関のスペースデブリ研究活動に関する情報交換、調整等を主な目的とする会議体
- 1993年に欧米の研究者・技術者を中心として設立、その後ロシア、日本などが加わり、現在は13機関が参加
- 日本としては、IADC設立当初は国内複数機関が協力して対応していたが、現在はJAXAが代表

スペースデブリ対策に関するJAXAの研究開発構想

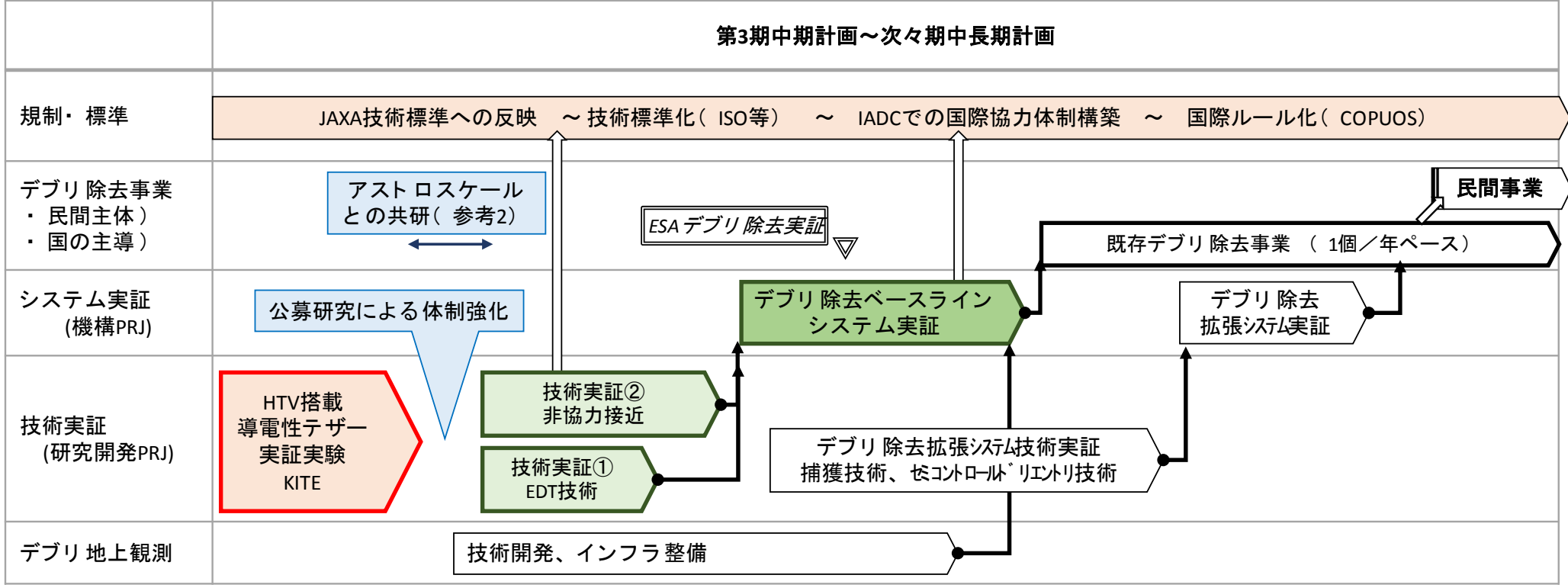
□ 宇宙デブリ除去を新規宇宙事業として拓き、民間事業者が新たな市場を獲得する

- 目指す姿：①軌道環境が改善され、宇宙資産の保護と宇宙開発の持続的发展を可能にすること
②軌道環境改善を市場とする民間事業が拡大し、我が国産業界が大きなシェアを獲得すること



□ 目標とJAXAの役割

- 目標A【民間主体】：新規宇宙機のデブリ化を防止 ⇒ **JAXAは要素研究／技術支援で貢献**
- 目標B【国の主導】：衝突の危険性が高い既存の宇宙デブリを排除 ⇒ **重点化する課題**



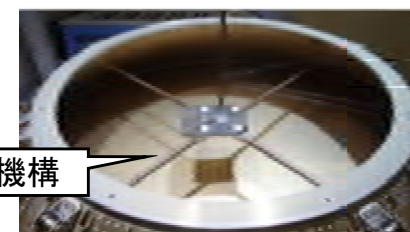
技術実証／システム実証の構想

□ 技術実証①、②：デブリ除去に必須だけでなく、将来の我が国の競争力にもなる技術に重点化

- 接近技術／捕獲技術
 - ✓ 探査におけるランデブ技術等にも貢献
 - ✓ 光学センサ等による接近技術に関する豊富な経験（ETS-VII、HTV等）
 - ✓ 捕獲機構の関連特許4件（出願中含む）
- デオービット技術（導電性テザー（EDT）技術）
 - ✓ 他の軌道遷移手法に比べて圧倒的な小型化、低コスト化が可能
 - ✓ 導電性テザーの関連特許7件（出願中含む）



光学カメラを用いた
非協力接近



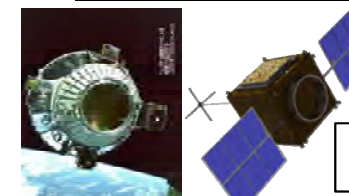
捕獲機構

□ デブリ除去ベースラインシステム実証：

- ねらい：デブリ除去市場が事業として魅力的であることを産業界にアピールする
 - ✓ 低コスト除去の実現性を示し、国際的デブリ除去活動の開始を誘導する
⇒市場創出
 - ✓ 地上インフラ整備事業等、事業拡大の可能性を示し、産業界のデブリ除去事業への参入を促す
⇒市場拡大
- 除去対象： 過去のH2A上段もしくは相乗りしたH3の上段
- システム実証に向けて準備を完了／リスクを最小化しておくべき課題の整理
 - ✓ 地上からのデブリ運動観測技術開発と最低限のインフラ整備の完了
 - ✓ 要素技術（2頁参照）の確立
 - ✓ 運用中、切断、ミッション未達時にテザーが他衛星の迷惑になるリスクの解決



接近



捕獲



軌道降下

スペースデブリ対策の連携強化に向けた取り組み

□ JAXAの研究開発構想に基づく公募型研究の取り組みに着手

➤ ねらい

- ✓ デブリ対策に必須なJAXAの研究・技術実証計画を加速する。
- ✓ デブリ対策を事業として産業界の自立を促すため、事業化に積極的な企業との研究開発の初期段階からの連携を強化する。
- ✓ スペースデブリ対策は総合的な対策（技術、国際ルール、事業化等）が求められ、JAXAのリソースだけでは対応することが困難であることから、オールJAPANとして対応する。

➤ デブリ対策の早期市場創出と競争力確保を目指したテーマ設定

- ① スペースデブリ除去のミッションシナリオに基づくシステム検討
- ② スペースデブリを捕獲するための要素技術の研究
- ③ スペースデブリ除去の事業化に至るシナリオの研究

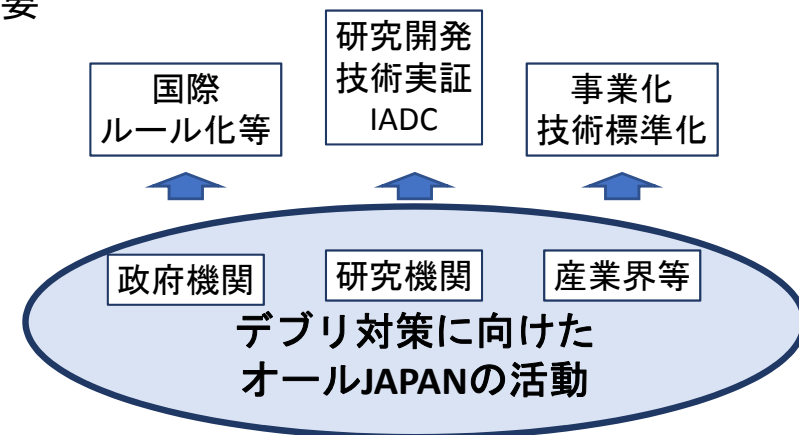
➤ 公募型研究を実施する必要性

- ✓ 広範な活動に対応するため多岐に渡る人材・技術の糾合が必要
- ✓ 関係者間で戦略を共有し、実行することが必要
- ✓ JAXAは中核機関として先導する役割がある

➤ 今後の予定

- ✓ 応募29件中16件※を採択
- ✓ JAXAのマネジメントの下、2～3年の研究計画として実施
- ✓ 年度末毎に採択者全員を集めた合同の成果報告会を開催

※ <http://www.kenkai.jaxa.jp/pickup/debris.html>



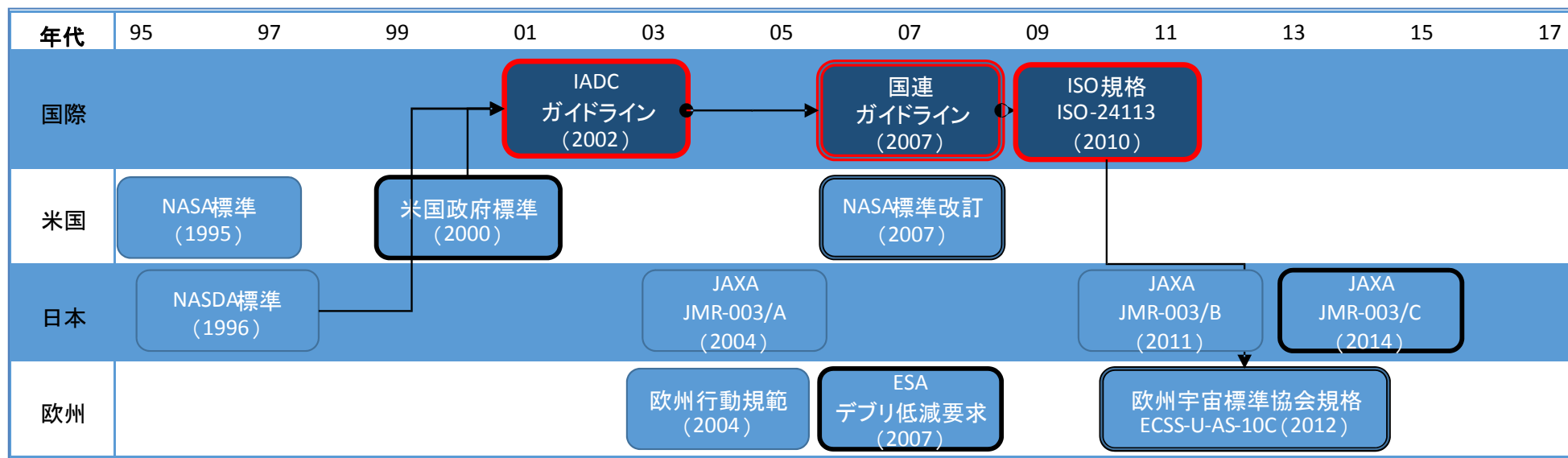
(参考1) 各国のスペースデブリ対策標準の変遷

□ 国際的な議論の歴史

- JAXAは国際的なガイドライン作りを先導・貢献してきた
- NASDAなどの標準をベースにIADCのガイドラインが制定され、国連ガイドラインにつながった。
- 現在は、IADC、ISO、COPUOSで国際的な議論がなされる一方、各国独自の標準を制定している。

□ IADCにおける議論の重要性

- 同時多発的に見えるが、キープレイヤはIADCに重複して参加しており、前もってIADCで議論されている。
- IADCにおける直近の山場となる議論として、メガコンステレーション等の環境変化を受け、ガイドラインを厳しくする方向で改訂の準備が進められている。



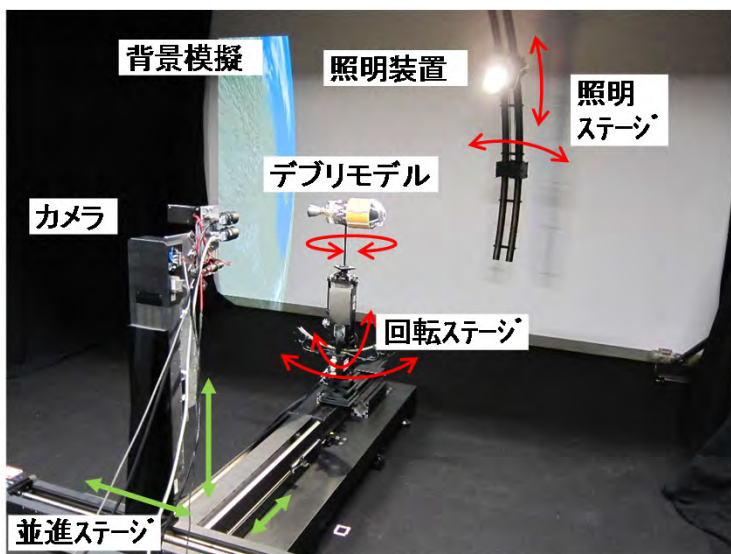
(参考2) アストロスケール社との共同研究の概要

□ 概要

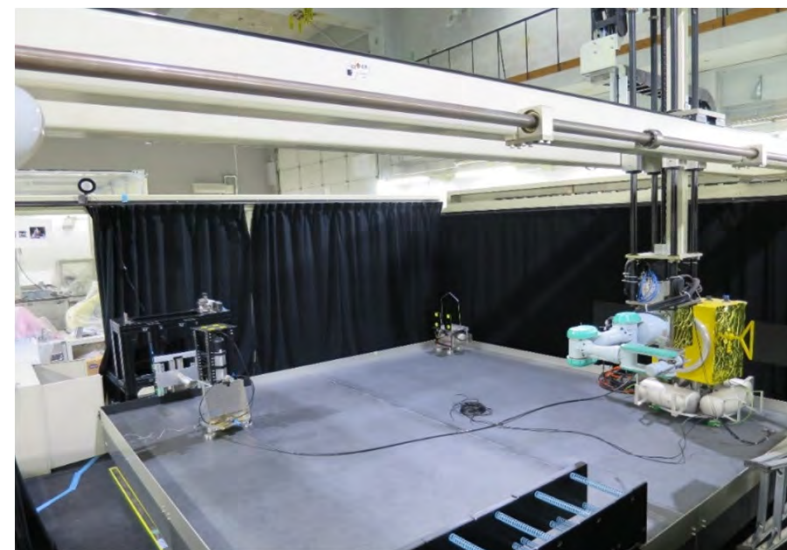
- アストロスケール社の技術実証小型衛星 (ELSA-d) の地上試験および軌道上データとの比較評価を共同で実施する。
 - ✓ ELSA-d は2019年前半の打上を目指して開発が進められている。
 - ✓ JAXAが研究を進めているデブリへの接近・捕獲技術の検証にかかる試験技術を提供して協力する。
 - ✓ 軌道上において「ELSA-d」が取得する模擬デブリの画像データの評価を共同で行う。

□ 意義

- アストロスケール社のメリットは、JAXAの有する研究設備および試験ノウハウ（下図）を利用できること。
- JAXA側のメリットはELSA-d の軌道実証データを研究に反映できること。



JAXA所有の光学シミュレータ(左)とそれによる画像(右)



JAXA所有の宇宙ロボット運動模擬装置(ガントリー・石定盤)