

スペースデブリに関する取組について

(1 - 2) IADCの議論の動向とJAXAの研究開発

2019年 3月 27日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

国際機関間スペースデブリ調整委員会(IADC*)の概要

*: Inter-Agency Space Debris Coordination Committee

組織の概要

- 加盟宇宙機関間での研究活動に関する情報交換、研究協力の機会の提供、デブリ低減策の識別等を目的
- ステアリンググループ(SG)と4つのワーキンググループ(WG: 状況把握、環境予測、防護、低減)で構成
- メンバ要件は国を代表する宇宙機関であり、現在13か国から13機関が加盟している。

これまでの成果例

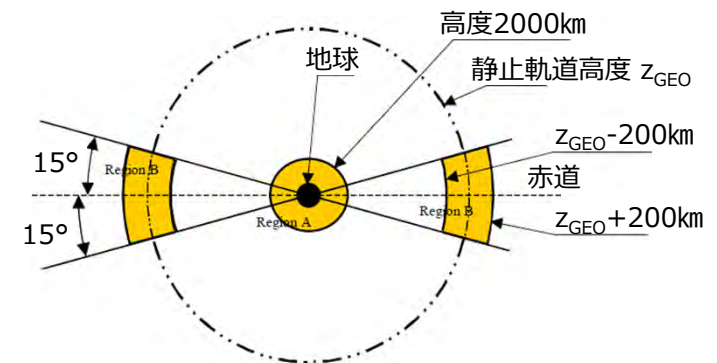
NASA (米)、ROSKOSMOS (露)、CNES (仏)、JAXA (日)、ASI (伊)、CNSA (中)、UKSA (英)、DLR (独)、ESA (欧)、ISRO (印)、NSAU (烏)、CSA (加)、KARI (韓)

➢ IADCスペースデブリ低減ガイドラインの策定(2002)

- ✓ デブリ低減に関する先進国宇宙機関間の初めての合意ガイドライン
- ✓ NASDA標準・米国政府基準をベースに、1990年代からJAXA(当時NASDA)がルール策定議論を先導・貢献
- ✓ この内容をふまえて国連スペースデブリ低減ガイドライン、国際標準規格(ISO-24113)が制定された。

➢ ガイドラインの主な項目

- ① 正常な運用で放出される物体の制限
- ② 軌道上破砕事故の防止
 - ・ 破砕事故、残留エネルギーによる爆発の防止
 - ・ 意図的な破壊行為、軌道環境に有害な行為の禁止
- ③ 運用終了後の廃棄 (保護すべき軌道域からの除去):
 - 静止軌道保護域: 運用終了後に300km程度の高度上昇
 - 低軌道保護域: 運用終了後25年以内に落下させる
- ④ 軌道上の衝突の防止 (地上で監視できる物体との衝突の回避)



IADCで定められた保護領域

WG1：状況把握

- ▶ スペースデブリ姿勢運動の推定手法の精度向上、姿勢運動推定結果の報告
 - 将来の大型デブリ除去に向けて、除去対象デブリの運動状態を把握する技術に関する議論。
 - ロケット上段を対象に、地上からの観測において光度変化が出現したり消失したりする現象の解明手法を議論し、現象を示したロケット上段に対する集中的な観測キャンペーンが提案された。

WG2：環境予測

- ▶ 各宇宙機関による衛星コンステレーション構想を踏まえた将来予測結果の共有
 - 各機関の推移モデル間による差異はあるものの傾向は一致。軌道上環境への影響・ガイドライン強化の必要性が示された。
- ▶ デブリ除去の有効性に関する検討
 - これまでの主要な検討課題であった打上頻度の影響、太陽活動などの将来予測の不確定性については報告書が出された。
 - 今後デブリ除去効果に関する議論を進め、報告書にまとめて提出する予定。

WG3：防護

- ▶ 宇宙機コンポーネントの脆弱性に関する報告書
 - 衛星に被害を与えるデブリの“最小サイズ”を定めるにあたり、衛星のコンポーネントによって脆弱性は異なるため、一概にある大きさ以下ならば安全とは言えないとの結論に至っている。
 - 代表的なコンポーネントの脆弱性をレポート化しており、JAXAが取りまとめで完成。

WG4：低減

➤ 衛星コンステレーション運用者に向けた提言の作成

- ガイドライン化を目指して、2017年の声明よりも厳しい制約を入れた声明の改定を検討中。
 - a. 衛星投入初期高度は25年度以内に自然落下する高度とすること、
 - b. 廃棄成功に関わる信頼性は95%を達成すること、
 - c. ロケット機体は制御再突入すること、
 - d. 衛星の不具合で通信不可能になった状態でも、安全に自動で廃棄操作ができること、など

➤ IADCデブリ低減ガイドラインの改定（一例）

- 「PMD成功確率90%以上」という具体的な数値が追加された。

➤ 低軌道環境のデブリ許容負荷に係る議論

- 現在は廃棄成功確率(PMD) 90%をベースに推移予測などを議論しているが、そもそもどれだけのデブリを許容できるのか限界値が明確になっていない。
- ESAの提案で、低軌道環境がどの程度のデブリ負荷まで耐えられるか(持続的に利用できるか)スタディを立ち上げることとなった。
- 限界値が明確になった後、許容総量を軌道利用者に配分するような枠組みの議論が想定される。

リフレクタの無いデブリでも運動推定によりデブリの運動を事前把握するJAXA特有の研究開発

- 対象の直接撮影技術：大気揺らぎを補正する補償光学系を導入し対象を鮮明にとらえる技術を開発する。
- ライトカーブ（対象の光度変化）による運動推定：地上で模擬環境を整備して推定技術を検証する。

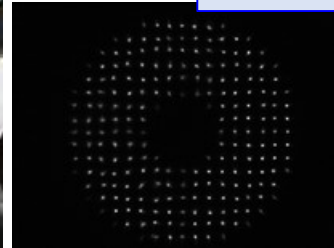
直接撮影技術



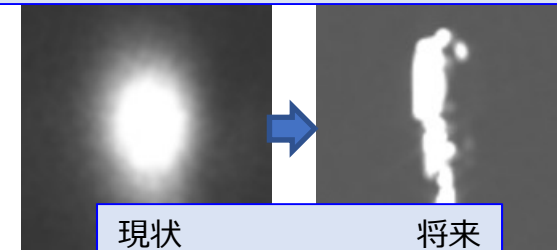
60cm望遠鏡



シャックハルトマン大気計測装置



1年間の大気環境のモニター結果から最適な補償光学系を導入し、高度600kmで1m以下の分解能を目指す。

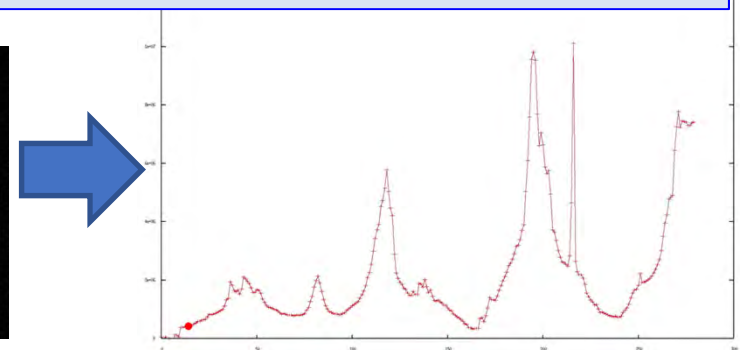


現状
技術目標のイメージ

入笠山の研究用望遠鏡を用いて、大気の揺らぎを補正し、光量を絞ることで結像性能を向上させる研究を進めている。

ライトカーブ観測技術

運動状態を正確に把握できる疑似ライトカーブと観測からの得られる実際のライトカーブデータとを比較することが可能になりH2Aロケット上段の運動状況の推定に取り組むことができる。



光学シミュレータを利用した実験環境を整備し、H2Aのモデルを利用した疑似ライトカーブの生成が可能になった。

10cm～のデブリを対象とする地上観測技術（下図青破線領域がターゲット）

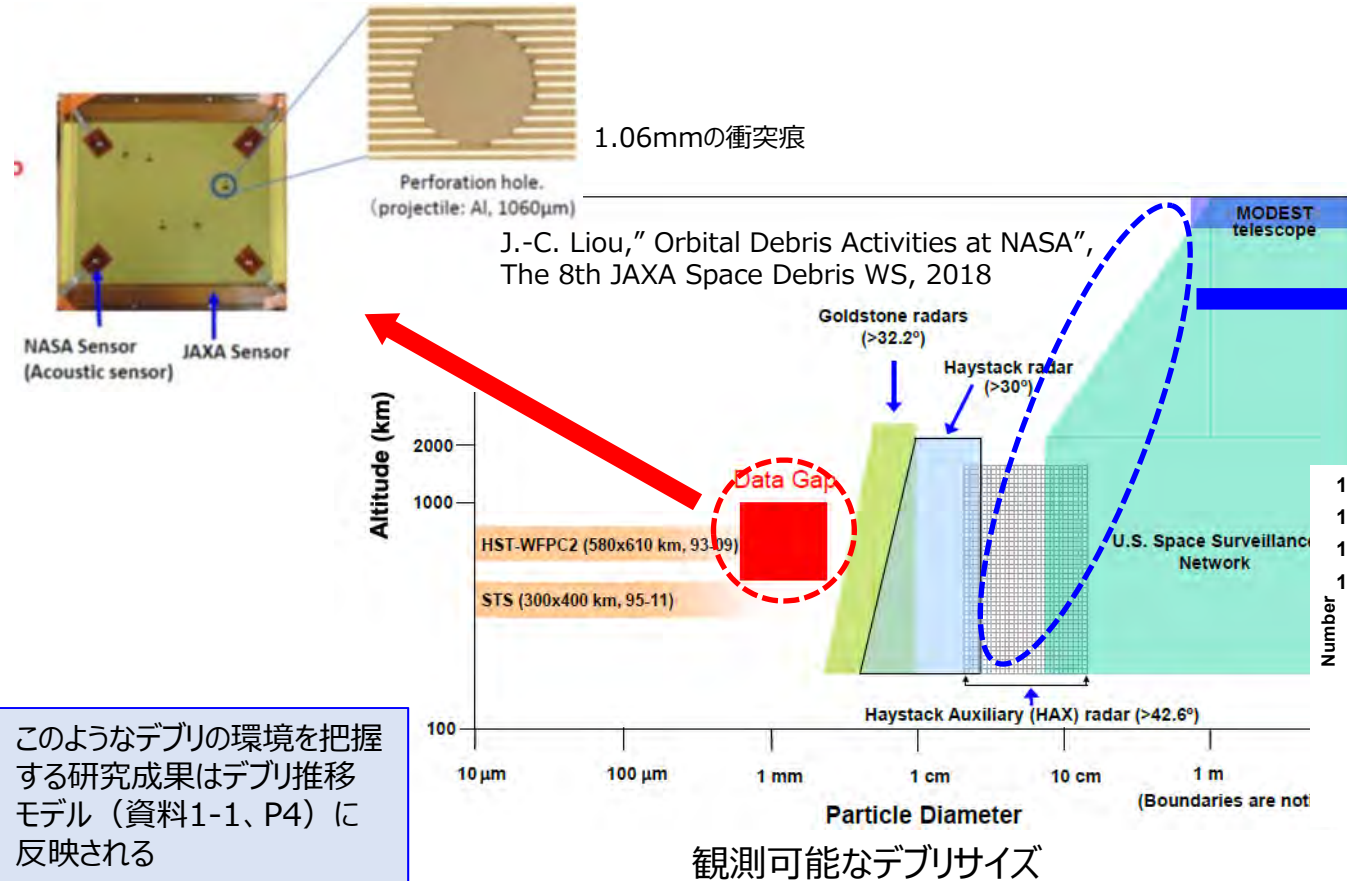
- CMOSセンサーにより、高度1,000kmを1.5日間観測し、109個の物体を把握（右図）。
- 光学観測はレーダーが届かない静止軌道でも有効な技術で、数10cmの検出精度が期待できる本技術は、静止軌道付近の小型衛星級の状況把握技術として安全保障上も価値が高い。

サブミリ級のデブリはNASAと共同で軌道上観測を実施する（下図赤破線がターゲット）

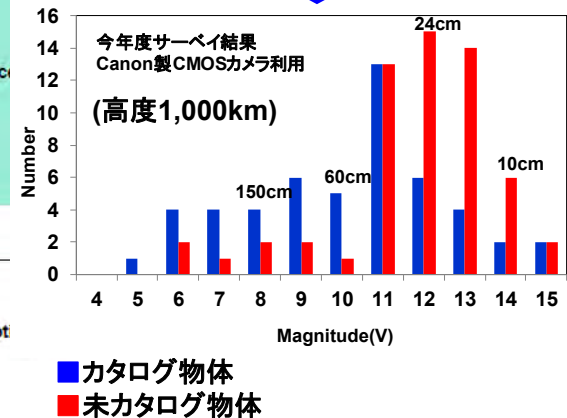
- JAXA/NASAが開発したセンサはデブリの衝突頻度、寸法、方向、速度、質量等を計測できる。
- NASAの環境モデル向上に貢献し、わが国もその知見を得る。



豪州に設置したリモート観測所



このようなデブリの環境を把握する研究成果はデブリ推移モデル（資料1-1、P4）に反映される



日本が世界に先駆けてデブリ除去技術を確立し、事業化につなげる好機。

- デブリ除去に**必要な要素技術を1国で保有。** : 「無人機ランデブ技術」「宇宙ロボット技術」「電気推進技術」
- 得意のシステム化技術を駆使して**ETS-7、HTV、はやぶさ、はやぶさ2等の高度なミッションを実現**、世界的にも評価。
- 民間の動きも活発。日本の衛星開発拠点を置く**アストロスケール社**がメガコンステレーションデブリ除去サービス事業を、**川崎重工業**が独自の大型デブリ除去を目指す衛星開発プログラムを始動している。
- ESAは大型デブリ除去実証ミッション e.Deorbit に向けて活動を最本格化。米国はデブリ除去の動きは鈍い。

国・組織	日本・世界のデブリ除去関連の主な動向
日本	上記の通り アストロスケール社 ELSA-1dのターゲット衛星 は、 欧州SSTL社 が製作する予定。
欧州 ESA	ENVISAT除去ミッション e.Deorbit を研究。 足踏み状態であったが、欧州企業に対して、“In-orbit Servicing/Debris Removal” のサービス調達へ向けたアナウンスを開始し、活動が再度本格化。
欧州 EU・SSTL	デブリ除去の 要素技術実証衛星 RemoveDEBRIS を2018年に打ち上げし実験運用中。 捕獲用ネット、鉤、航法センサの部分技術実証を実施（システム技術実証ではない）。
米国	デブリ除去を目的とした活動は活発ではない。 <ul style="list-style-type: none"> • Northrop Grumann (旧Orbital ATK) が静止衛星の軌道制御を代替する延命サービスを Intelsat社と契約、2019年に実施予定。 • Maxtar社傘下のSSL社がNASA向けRestore-Lミッション(LEO衛星推薬補給)およびDARPA向け RSGSミッション (GEO衛星向け軌道上サービス)から撤退。 • DARPAが軌道上サービスの技術標準作成へ向けた民間中心のコンソーシアムCONFERSを立ち上げ。
英国/イスラエル	Effective Space社が静止衛星延命サービスシステムを開発中。静止衛星オペレータと契約。2020年予定。
中国	中国運載火箭技術研究院がデブリ除去技術試験衛星Aolong-1 を2016年に打上げ。実施結果不明。

日本由来のデブリを対象に『世界初の大型デブリ除去』を目指す

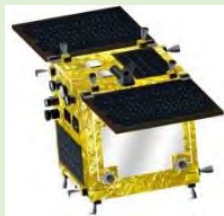
- 軌道上デブリ除去うちでも除去効果が大きく、技術的に高度な大型デブリ除去の実証を行う。
- 例えば IADC における議論など、デブリ対策に関する世界的な議論を先導し、市場の開拓につなげる
- 事業化を目指す事業者の競争力確保に貢献する

キー技術実証 (2022年度)



・軌道上物体状況把握

軌道上観測(民間)と地上観測(JAXA実施)による状況把握



・近傍制御

静止していないデブリに対し近傍制御する航法誘導制御技術

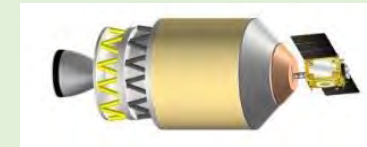
・高度オンボード画像処理

AI・深層学習など最新技術によるオンボード画像処理・航法技術

・技術実証衛星イメージ

100kg級の技術実証衛星で産業界の基盤技術獲得を実現

大型デブリ除去 (2025年度以降)



- ・我が国由来のロケット上段をターゲット(TBD)



- ・接近～捕獲～軌道遷移～制御再突入

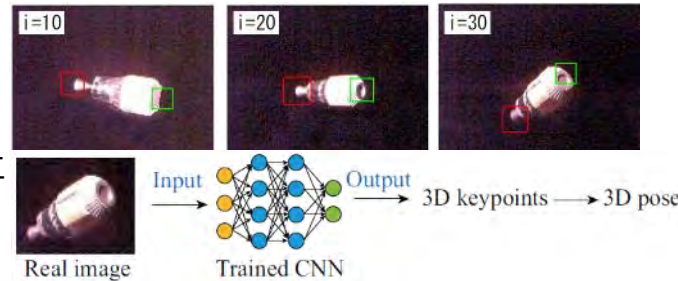
世界初の大型デブリ除去へ

スペースデブリ除去技術実証に向けた要素技術の研究開発状況

① スペースデブリ(非協力物体)へのランデブ(接近)技術

➤ 画像航法技術(オンボード画像処理)

深層学習を用いた畳み込みニューラルネットワーク(CNN)によるロバストオンボードデブリ画像認識・航法技術のソフトウェア研究および地上実験を実施



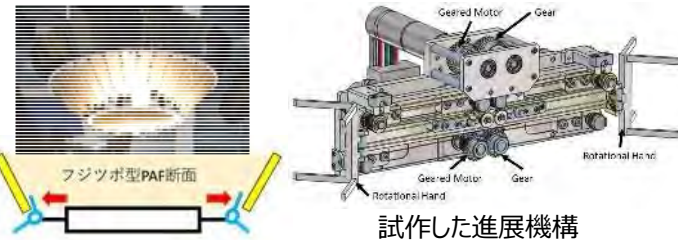
適用する
ミッションイメージ



② 非静止スペースデブリの捕獲・把持技術

➤ 捕獲機構技術(伸展機構)

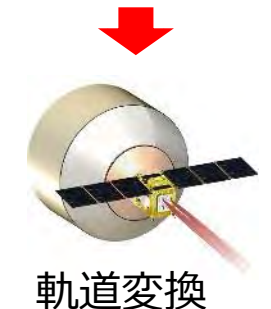
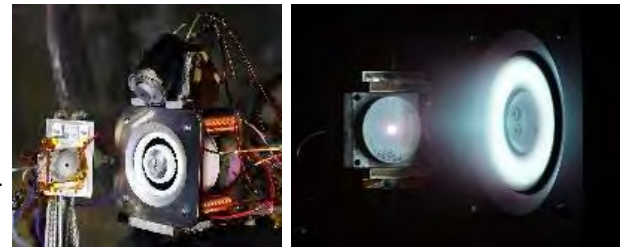
捕獲しやすいと想定されるロケット上段の衛星分離部(PAF)を確実に捕獲・把持する伸展機構の試作評価および運動しているスペースデブリの捕獲運用の地上検証技術研究を実施



③ 小型除去衛星による大型スペースデブリの軌道変換技術

➤ 小電力・小型電気推進技術

大質量スペースデブリを小型の除去衛星により軌道降下させるために必要となる小電力・小型で長寿命(Magnetic shieldingによる損耗低減)な電気推進システムの試作評価・地上試験を実施



JAXAは我が国宇宙産業界の発展に貢献することを目的にデブリ対策の戦略を検討している

- 世界初のデブリ除去を目指した技術実証により、わが国産業界の競争力強化と国際ルール化の議論における主導権を取ることに貢献する。⇒ 工程表に示された活動として、JAXA研開部門でデブリ除去実証ミッションを含むプログラムとして対応している。
- 既存の事業領域（打上サービス、衛星開発／運用）に対しては、JAXA全体で連携しながら対応している。
- JAXAは国としての方針策定に対しても貢献していきたい。

