

スペースデブリ対策の取組について

平成30年11月13日

内閣府宇宙開発戦略推進事務局

スペースデブリに関する現行の主な政策

□ 宇宙基本計画 (平成28年4月1日閣議決定)

- デブリ回避のために我が国のSSAの体制の確立と能力の向上を図り、同盟国等とSSA情報の共有等を進め、我が国の宇宙システムがスペース・デブリとの衝突等を回避するために必要となる能力を構築する。
- 宇宙空間における法の支配の実現・強化に向けて諸外国との連携を積極的に推進する。
- デブリ除去技術の開発等に取り組み、宇宙空間の利用環境を改善する。

□ 宇宙基本計画工程表 (平成29年12月12日 宇宙開発戦略本部決定)

- スペースデブリ対策について、国際連合宇宙空間平和利用委員会 (COPUOS) をはじめとした国際会議等の議論に引き続き積極的に参加・貢献し、スペースデブリの低減・発生防止等の国際的なルール作りに関する取組を推進する。
- また、平成30年度以降に、我が国由来の衝突の危険性が高いスペースデブリの対策を主眼に、除去システムの確立に向けて段階的な技術の開発を行う。また、デブリ化防止や、観測・モデル化に関する技術開発に引き続き取り組む。
- 宇宙活動法に基づく技術基準について、迅速かつ透明性の高い運用を行うとともに、法施行後5年を経過した段階で、施行状況について検討を加え、必要があると認めるときは、その結果に基づいて所要の措置を講ずる。

□ 宇宙基本計画の工程表改訂に向けた重点事項 (平成30年6月22日宇宙政策委員会策定)

- スペースデブリ対策について、国際連合宇宙空間平和利用委員会 (COPUOS) や国際機関間スペースデブリ調整委員会 (IADC) 等の国際会議等の議論に積極的に参加・貢献し、スペースデブリの低減・発生防止等の国際的なルール作りに関する取組を推進する。
- また、平成31年度から、我が国由来の衝突の危険性が高いスペースデブリの対策を主眼に、除去システムに係る技術の軌道上実証計画を進める。計画の推進に当たっては、民間活力を利用する。
- また、デブリ化防止や、観測・モデル化に関する技術開発を着実に進めるとともに、我が国が先行する取組を通じて国際的な検討に積極的に貢献する。

今後のスペースデブリ対策強化に向けて

- スペースデブリの対策を行っていくに際し、どのような取組が効果的か。

■ 現状分析と将来予測

- 観測やモデル化 等

■ デブリ低減の対策

- デブリ発生抑制
 - ✓ デオービット(ロケット等)
 - ✓ 部品・破片の放出抑制 等
- 積極的なデブリ削減
 - ✓ リデュース(Reduce: デブリ除去)
 - ✓ リペア(repair)
 - ✓ リフューエル(Refuel)等
- 衝突回避・防護
 - ✓ SSA (Space Situational Awareness)
 - ✓ STM (Space Traffic Management) 等

■ 国際的なルール整備

- 国際的なルール、ガイドライン、標準の作成等
 - ✓ 国連COPUOS
(UN Committee on the Peaceful Use of Outer Space)
 - ✓ IADC
(Inter-Agency Space Debris Coordination Committee)
 - ✓ ISO 等
- 国内ルール整備(活動法等)

■ 広報・啓蒙活動

1. 衛星軌道の現状
2. スペースデブリ除去の技術開発・実証に向けた取り組み
3. SSAシステム構築に向けた取り組み
4. スペースデブリに関する国際ルール
5. IADC(国際機関間スペースデブリ調整委員会)の状況

(参考)衛星軌道の現状

- 近年、**小型の人工衛星の増加**に加え、**宇宙デブリの発生**など、**軌道上の物体が増加**。
- 高度別では、地球観測に適した**低軌道**（高度：500～1700km付近）に**物体が密集**。

運用中及び計画されている主な小型衛星

企業名	機数
OneWeb社（米）	900機超
Space X社（米）	4000機超
Planet社（米）	100機超
BlackSky Global社（米）	約60機
Axelspace社（日本）	約50機

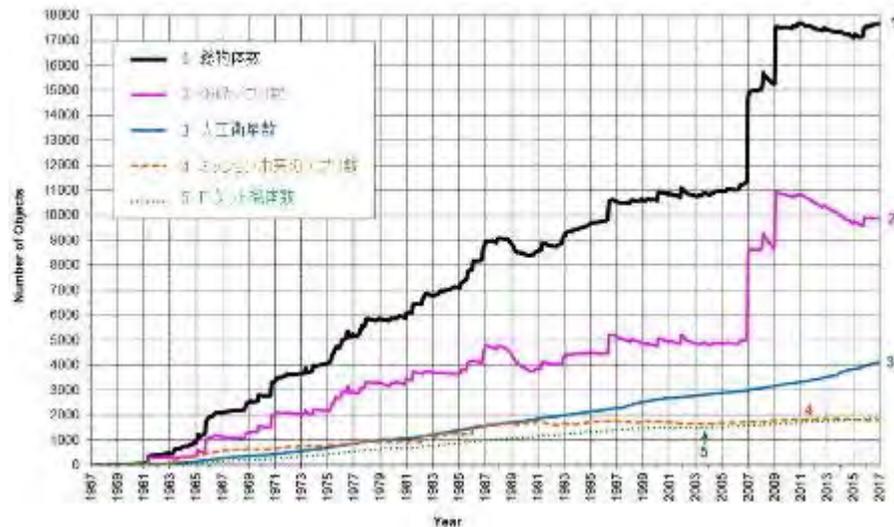


(OneWeb社HPより)

小型衛星のコンステレーション

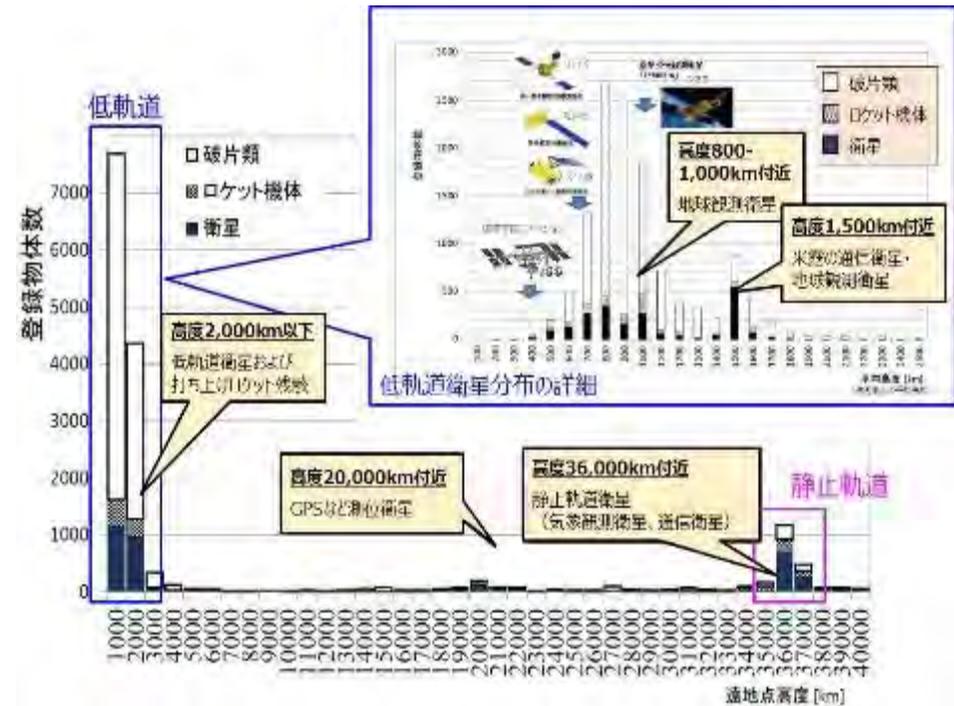
(出所：経産省調査)

軌道上の物体数



(出所：NASA)

軌道毎の物体数



参考：

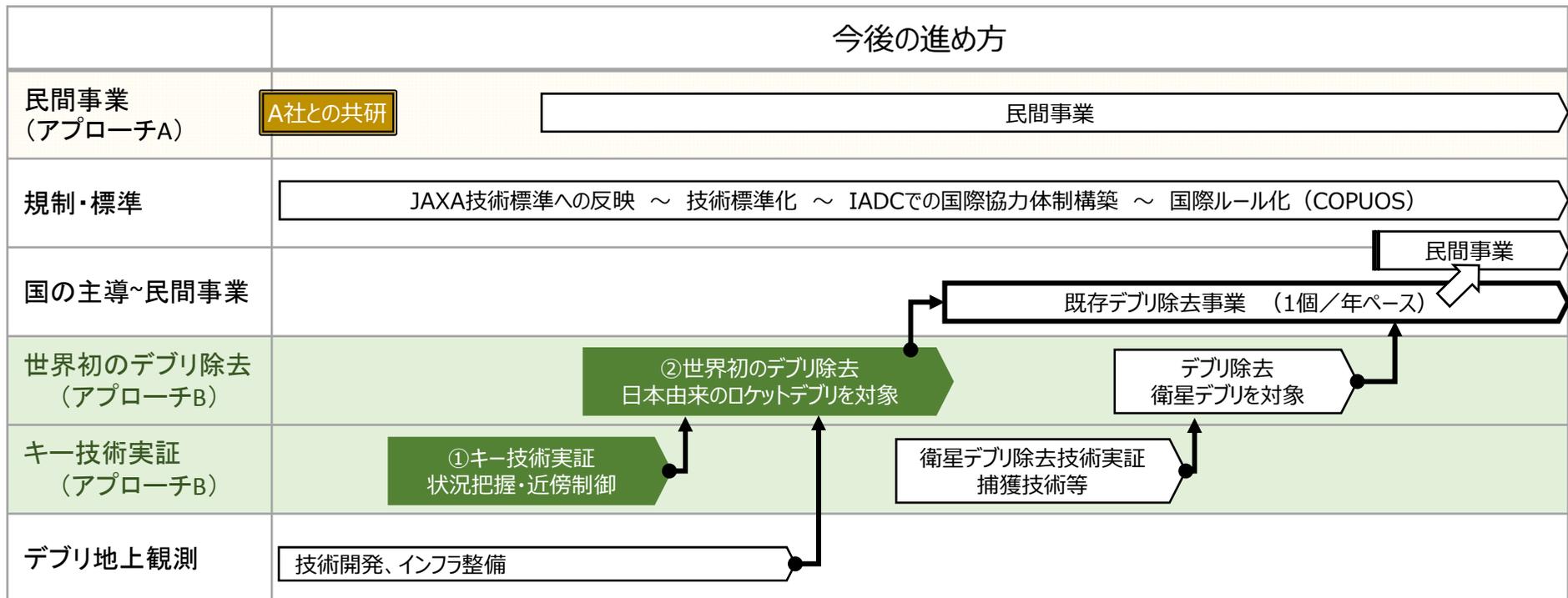
- 約36,000km：静止衛星（通信・放送衛星、気象衛星）
- 約32,000～40,000km：測位衛星（準天頂衛星）
- 約20,000km：GPS衛星
- 約500～1500km：観測衛星
- 約400km：国際宇宙ステーション（ISS）
- 約10km：ジェット飛行機

(参考)スペースデブリ除去の技術開発・実証に向けた取り組み①

研究の目標と計画

目標：2020年代にスペースデブリ除去を新たな宇宙事業として拓く

- **アプローチA**: スペースデブリに対して、独自の事業化を目指す企業と共同研究を進めている。
- **アプローチB**: 事業化意欲のある民間事業者とともに既存の大型スペースデブリ除去を世界に先駆けて行い、その優位性を活かして新しい事業分野を切り開く革新的なイノベーションに繋げる。

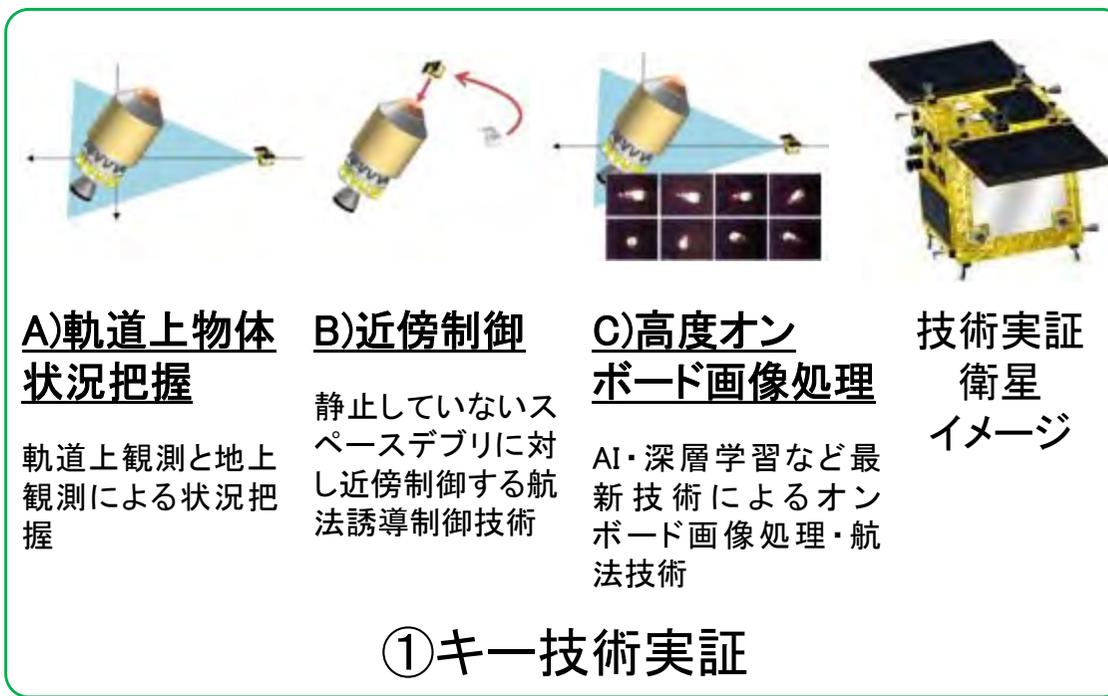


(参考)スペースデブリ除去の技術開発・実証に向けた取り組み②

研究開発の概要(キー技術実証ミッションと技術課題)

スペースデブリ対策の事業化を目指す民間事業者と連携し、新たな市場の創出と我が国の国際競争力の優位性確保を目的とした技術実証し、我が国由来の大型ロケットデブリ除去の実現を目指す。

【ミッション概要と技術課題】



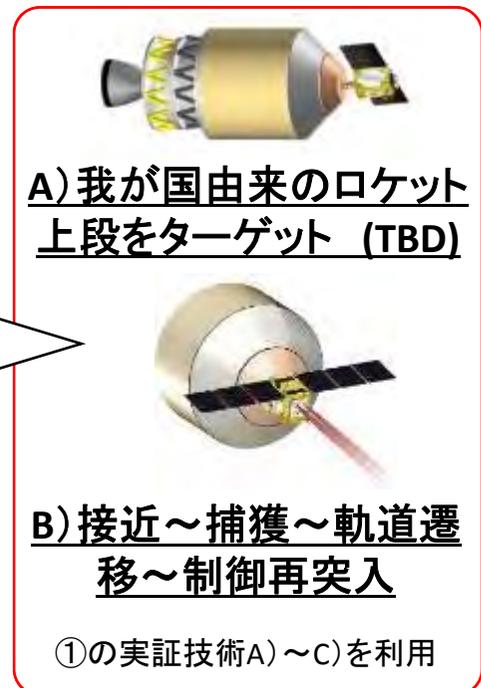
A)軌道上物体状況把握
軌道上観測と地上観測による状況把握

B)近傍制御
静止していないスペースデブリに対し近傍制御する航法誘導制御技術

C)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

①キー技術実証

②世界初の大型デブリ除去へ



A)我が国由来のロケット上段をターゲット (TBD)

B)接近～捕獲～軌道遷移～制御再突入
①の実証技術A)～C)を利用

- 世界に先駆けて、軌道上デブリ除去うちでも効果が大きく、技術的に高度な大型デブリ除去の実証を行う。
→大型スペースデブリは衝突確率が高く、衝突により多くの破片を発生するため、宇宙環境に与える影響が大きいいため、優先的に除去を行う必要がある。

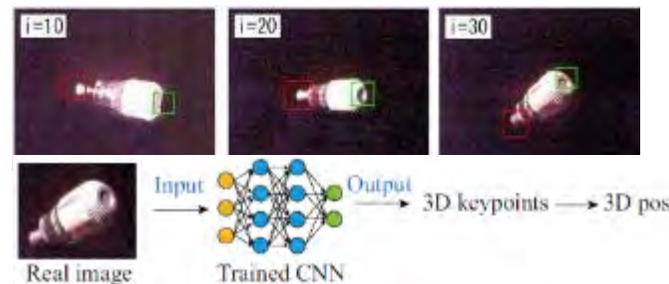
(参考)スペースデブリ除去の技術開発・実証に向けた取り組み④

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



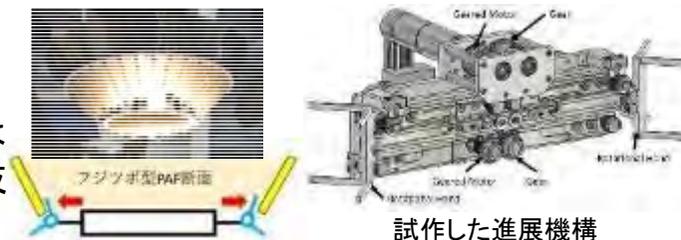
適用する
ミッションイメージ



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)

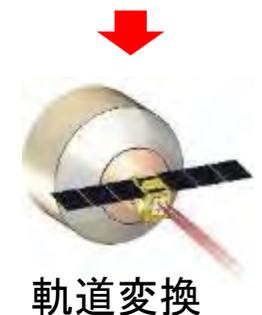
捕獲しやすいと想定されるロケット上段の衛星分離部(PAF)を確実に捕獲・把持する伸展機構の試作評価および運動しているスペースデブリの捕獲運用の地上検証技術研究を実施



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

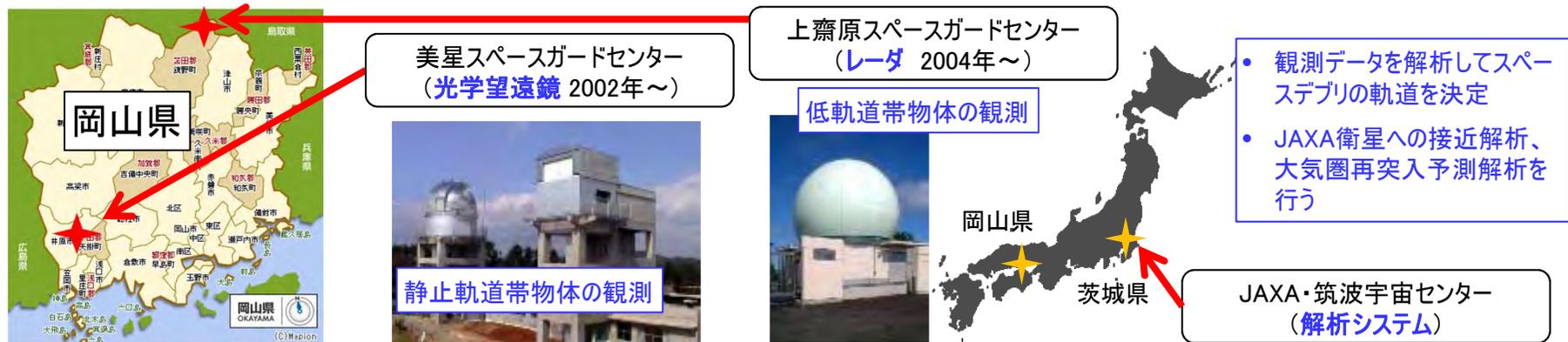
大質量スペースデブリを小型の除去衛星により軌道降下させるために必要となる小電力・小型で長寿命(Magnetic shieldingによる損耗低減)な電気推進システムの試作評価・地上試験を実施



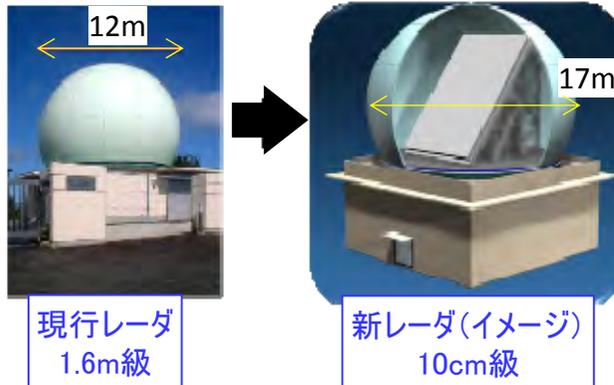
(参考)SSA(宇宙状況把握)システム構築に向けた取り組み

JAXAはスペースデブリ観測能力向上等により、JAXA衛星のスペースデブリ衝突リスクの低減を可能とする新しいSSAシステムの構築を推進している。平成35(2023)年からの運用開始を見据えて、レーダ・光学望遠鏡の整備等を着実に実施している。

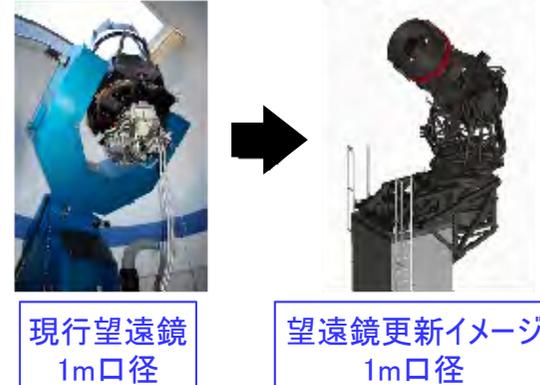
JAXAのSSAシステムの概要



レーダの観測能力向上



光学望遠鏡の老朽化更新



(参考)

スペースデブリに関する国際ルール

国際条約（法的拘束力有り）

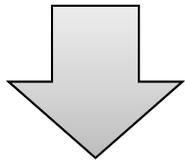
宇宙条約

※一般的な形で、他国の利益への配慮、宇宙空間の汚染の回避等を義務付け（第9条）

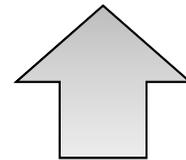
国連で形成されるソフトロー（法的拘束力無し）

COPUOSスペースデブリ低減ガイドライン

宇宙活動の長期的持続可能性ガイドライン



- 国連によるエンドース
- 各国の取り組みの促進



- 技術的な基準，標準の作成

技術ルール

**機関間スペースデブリ調整委員会（IADC）
スペースデブリ低減ガイドライン**

⋮

(参考) 国連宇宙空間平和利用委員会 (COPUOS)
スペースデブリ低減ガイドライン (2007年)

- 機関間スペースデブリ調整委員会 (IADC) の提案に基づき作成。
 - IADCスペースデブリ低減ガイドライン (2002年) と類似した構成だが、内容は簡素化。
 - IADCガイドライン最新版を参照とするよう記述。
- COPUOSにてIADCガイドラインをエンドースし、各国に、IADCガイドラインに則した取り組みを促すものと言える。

COPUOSスペースデブリ低減ガイドライン (概要)

- 国家メカニズムや独自の適用メカニズムを通して、これらのガイドラインが実行されることを保証し、最大限可能な範囲で自主的に対策をとることが望ましい。
 - ①運用中に放出されるデブリの制限
 - ②運用中の破砕の可能性の最小化
 - ③偶発的軌道上衝突確率の制限
 - ④意図的破壊活動とその他の危険な活動の回避
 - ⑤ミッション終了後の破砕の可能性の最小化
 - ⑥ミッション終了後に低軌道域に長期的に留まることの制限
 - ⑦ミッション終了後に地球同期軌道域に長期的に留まることの制限
- スペースデブリ低減対策に関係する更に詳細な記述と勧告については、IADCスペースデブリ低減ガイドラインの最新版が参照となる。

COPUOSとIADCのガイドラインの差異 (例) : 低軌道での運用終了後の衛星等の扱い (概要)

COPUOSスペースデブリ低減ガイドライン

運用を終了した衛星等は管理された方法で軌道から除去すること。それが不可能ならば、低軌道領域への長期的滞在を避ける軌道に廃棄すること。

IADCガイドライン

運用を終了した衛星等は、軌道を離脱させるか、軌道寿命が短い軌道に移動させる。回収は、もうひとつの廃棄手段。25年が合理的で妥当な寿命制限である。

(参考) 宇宙活動の長期的持続可能性 (LTS) ガイドライン

- 民間を含む宇宙への新規参入者の増加, スペースデブリ等の宇宙環境への脅威の増大に伴い, **既存のベストプラクティス, 慣行, 標準, 政策を整理**し, 宇宙活動の長期的持続可能性についての**ガイドラインを作成**することを旨とし2010年に交渉を開始。国連宇宙空間平和利用委員会 (COPUOS) 科学技術小委員会の下に設置された作業部会(WG)において検討された。
- WGにおいて**21のガイドラインの内容について一致**したが, **COPUOSではエンドースされず**, 本年6月にWGのマンデートの満了に伴い交渉が終了。

一致済みの主なスペース・デブリ関連ガイドライン (GL) (概要)

GL. A.2 国内規制において考慮すべき要素

→ 国内枠組みが考慮すべき要素として, COPUOSガイドライン, IADCガイドライン, ISO等に言及

GL. B.3 スペースデブリ監視情報の収集、共有及び普及の促進

GL. B.8 宇宙物体の設計及び運用

→ 衛星の追跡を容易とするようにし, スペースデブリ低減ガイドライン・標準に則すよう設計することを推奨

GL. D.2 スペースデブリを管理するための手法の調査及び検討

(参考)国際機関間スペースデブリ調整委員会(IADC)の開催概要

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

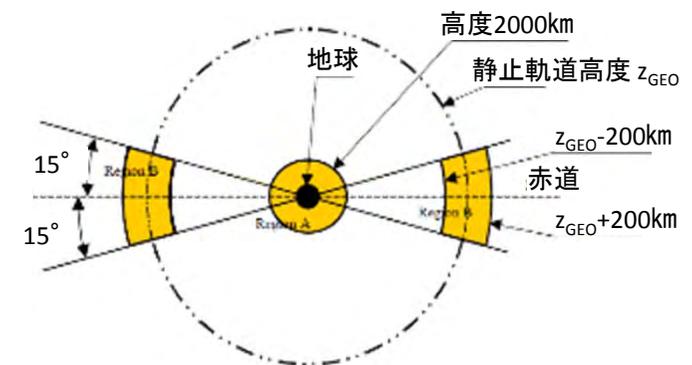
NASA(米)、ROSKOSMOS(露)、CNES(仏)、JAXA(日)、ASI(伊)、CNSA(中)、UKSA(英)、DLR(独)、ESA(欧)、ISRO(印)、NSAU(烏)、CSA(加)、KARI(韓)

➢ 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

(参考)国際機関間スペースデブリ調整委員会(IADC)の開催概要

第36回IADCの日本開催結果について

- IADC 第36回年次会合の開催概要 (JAXAは議長機関として参加)

開催概要: 2018年6月5日～8日、つくば国際会議場、11機関から約150名が参加(国外から約100名)

- 日本国としての取り組み、民間企業との連携・デブリ除去の事業化などをアピール

- ✓ 内閣府殿、民間企業(アストロスケール、川崎重工業)、JAXAからオープニングプレナリでの特別講演を行うことで、デブリ問題に取り組む日本のプレゼンスを高めた。



- 主要な議論: 衛星コンステレーション計画に備えたガイドライン改定の議論

- 衛星コンステレーションに向けた声明(2017)の改定案作成

- ✓ 衛星コンステレーションによる軌道環境悪化の将来予測結果を受け、より厳しい声明の改定案(衛星投入初期高度は、衛星が故障したとしても25年以内に自然落下する高度とすること)を作成。今後ステアリンググループSGで調整後、公開予定。

- IADC デブリ低減ガイドラインの改定案作成

- ✓ 現ガイドラインでは、保護領域以外については数値条件が無いが、各機関の基準では技術に関する数値化が進んでいるため、数値化に対応した改定案(自ら破砕する確率を千分の一以下とする、ミッション終了後の廃棄確率を90%以上にするなど)を作成し、SGで調整後、公開予定