

スペースデブリに関する今後の取組について（案）

令和元年 5 月 22 日

宇宙政策委員会

宇宙産業・科学技術基盤部会

昨今の宇宙空間におけるスペースデブリ（以下、「デブリ」と言う）の増加については、このまま推移した場合、長期的に見て宇宙空間の安定的な利用に支障が生じる可能性がある。このため、今後一層の拡大が見込まれる宇宙活動が安定的に行えるよう、デブリがもたらす課題を、国際的な議論の動向を踏まえつつ、将来を含めて十分に認識し、その対策について、我が国としての当面の取組の方向性を整理する。

1 現状認識

1957 年世界初の人工衛星（以下、「衛星」と言う）となるスプートニク 1 号の打上げ以後、宇宙空間の利用が始まり、現在では、通信、測位、観測等に用いられる等、我々の社会経済活動に不可欠なインフラ基盤となっている。これまでに世界各国で打ち上げられた衛星等（ISS 輸送機等を含む）は 2019 年 5 月時点で 8,500 機を超えており、高度が下がって落下したものや地上に回収されたものを除いても、軌道上に約 5,000 機以上存在している¹。

一方で、人類の宇宙開発・利用に伴ってデブリの数も増加し、安定的な宇宙利用の脅威になりつつある。今後、衛星コンステレーションの活用等、宇宙開発・利用の一層の拡大が見込まれる中で、デブリに関する課題についても本格的に取組むことが必要となっている。

¹ United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA), Online Index of Objects Launched into Outer Space.

(1) デブリの現状

デブリ発生には様々な要因があるが、大別すると、衛星の破砕・部品・破片の放出、宇宙空間混雑化による衝突、意図的な破壊実験、運用終了衛星や軌道投入用の使用済みのロケット（上段部）に分類される。

2007年には中国による物理的破壊を伴う自国衛星の破壊実験²が行われ、3000を超えるデブリが発生している。2009年には、軌道高度約790kmで米国イリジウム社の通信衛星とロシアの軍事通信衛星が衝突し、2016年には、欧州のSentinel衛星のデブリによる損傷が確認される等、宇宙空間における物理的衝突によるデブリも発生している。2018年には、静止軌道において運用終了した米国オーブコム社の通信衛星の破砕によるデブリも発生している。

発生したデブリは、軌道高度別では、800-850kmをピークとした高度2000km以下の低軌道、及び赤道上高度約36,000kmの静止軌道といった衛星運用に有用な軌道においてデブリが多数存在する状況にある。それらの数は、カタログ化された10cm以上の軌道上物体が約2万個存在している³。これに加え、1cm以上の微小デブリが約50~70万個、1mm以上の超微小デブリが1億個以上存在するとも言われている⁴。

低軌道の10cm以上は、観測・追跡による対応が可能であり、1mm以下は、設計等による防護による対応が期待されるが、1mmから10cmについては、現状では、観測・追跡、防護によるいずれの対応も出来ない領域になっている。また、宇宙空間のデブリ数が増加する中、衛星運用者も対応を余儀なくされている。世界全体では衝突回避運用が年間約100回程度実施されており⁵、運用衛星を15機保有するJAXAにおいても、これまで年間3~6回の衛星軌道変更が実施されて

² 我が国は、中国による衛星破壊実験に対して、2007年の国連宇宙空間平和利用委員会(COPUOS)において懸念を表明。

³ SpaceTrack.org(2019.4.19)によると19,594個。

⁴ スペースデブリに関する関係府省等タスクフォース(第1回)(2019年3月4日)、宇宙航空研究開発機構(JAXA)資料による。

⁵ 宇宙政策委員会宇宙産業・科学技術基盤部会(第45回)(2019年3月27日)、JAXA資料による。

いる。

このようなデブリへの対応に向けては、国際的な取組が不可欠であり、いくつかの国際的な場において規範作りが進められている。例えば、各国の宇宙機関が参加する国際宇宙機関間スペースデブリ調整委員会（IADC）⁶が策定したデブリ低減ガイドライン⁷がある。また、国連宇宙空間平和利用委員会（COPUOS）⁸においても、IADC のガイドラインを踏まえたデブリ低減ガイドラインが採択され⁹、これに加え、IADC のガイドライン等の既存の国際的な技術標準の適用の奨励等のデブリに関するガイドラインを含む 21 の宇宙活動の長期的持続可能性(LTS)ガイドライン¹⁰について一致した。

また、昨今の宇宙空間の混雑化や民間による宇宙開発・利用が一層進んでいることを踏まえ、COPUOS、IADC を始めとする各機関での更なる検討や履行に向けた取組に加え、今後の軌道上での、組立て、修理、燃料補給等の軌道上サービスを念頭にした規範（スタンダード）作りの検討も CONFERS¹¹等、民間主体で制定する動きもあるにより開始される他、米国においては、昨年、宇宙政策指令（SPD:Space Policy Directive）にも言及された宇宙交通管制（STM）¹²の具体化に向けた取組も進みつつある。世界経済フォーラム（WEF）では、我が国も参加し、デブリ対策を適切に実施した事業者を評価する仕組みの議論も行われている。

⁶ Inter-Agency Space Debris Coordination Committee。
NASA(米)、ROSKOSMOS(露)、CNES(仏)、JAXA(日本)等の国を代表する宇宙機関（現 13 機関）間によるスペースデブリ調整を検討する委員会。

⁷ 2002 年の「IADC スペースデブリ低減ガイドライン」。2007 年改訂。

⁸ Committee on the Peaceful Uses of Outer Space。

⁹ 2007 年の「国連スペースデブリ低減ガイドライン」

¹⁰ 「宇宙活動の長期的持続可能性ガイドライン」

¹¹ Consortium For Execution of Rendezvous and Service Operations。ランデブー、接近運用、軌道上サービスについて、産業界で合意された基準の策定と導入を目的とするコンソーシアム。

¹² Space Traffic Management。様々な定義があるが、2018 年 6 月開催の米国国家宇宙会議の宇宙政策指令-3(Space Policy Directive-3)では、宇宙空間における安全で、安定的、持続的運用能力を高め、衛星相互の干渉を防ぐための、計画、調整、軌道上での協調と定義。

我が国においては、2016年に国会で成立し昨年11月に施行した「人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律（以下、「宇宙活動法」と言う）」により、国際的な動向を踏まえてデブリ発生を抑制する一定の規定を整備しており、引き続き国際的な基準策定の検討の状況に注視している。

他方、例えば、低軌道の運用終了衛星について、IADCでは、25年以内に保護領域から廃棄することが参照されているが、約1/3が軌道変更の試みすら行っていないとの報告もある¹³。このため、今後は、既存のガイドライン等の着実な履行の促進を更に図る必要がある。

（2）デブリの予測と対策効果の例

昨今、低軌道における地球観測用小型の衛星コンステレーションが実用化しているが、今後は、低軌道衛星によりグローバルなインターネットサービス等を提供する大規模なコンステレーション¹⁴の実用化が進展すると予想されている。更に長期的に宇宙空間において新たなサービスや活動が拡大していく可能性もある。このような多数の新たな衛星の投入や、これに伴う運用終了衛星の増加等が、低軌道を始めとする宇宙空間全体のデブリに係る課題を一層増大させるとともに、それらへの取組がより重要になっていくと予想される。

CONFERS事務局は、今後10年で低軌道における衛星等の数は3倍になると予測している¹⁵。NASAにおいては、これらのコンステレーションによるデブリの推移予測を行っており、一定の条件下において、運用終了時のデブリの発生が約6倍増加するとの予測結果が示されている¹⁶。その際、衛星自身がデブリ発生を抑

¹³ ESA Space Debris Office, 18 May 2018.

¹⁴ OneWeb 約 600 機、SpaceX 約 4,000 機、Amazon 3,000 機以上との報道あり。

¹⁵ David Barnhart, *On-Orbit Services and Space Debris Removal. Consortium for Execution of Rendezvous and Servicing Operations: CONFERS*, International Symposium on Ensuring Stable Use of Outer Space (2019.3.1)

¹⁶ J.-C. LIOU et.al, *NASA ODPO's Large Constellation Study*, Orbital Debris Quarterly News, Vol. 22, Issue 4, September 2018. NASA 高度 1100~1300km に、運用期間 50 年(衛星の 5 年置換え)、重量 150kg 及び 300kg の衛星合計 6,700 機を投入時のインパクトを予測。

制するための一定の対策を前提にしている状況にも留意が必要である¹⁷。

また JAXA でも、独自の推移モデルによりデブリ除去の有効性を検証している¹⁸。その中では、軌道遷移・除去を含む運用終了後の廃棄措置（PMD：Post Mission Disposal）の成功確率を一定以上に規定する場合の効果が示されるとともに、PMD 実施率を達成できない場合の代替手段として、今後打上げられる衛星等に対して軌道遷移や除去等の軌道上措置を行う事業（EOL：End of Life）や、既存のデブリを除去する事業（ADR：Active Debris Removal）が、PMD 率実施向上と同様の効果を持つとしている。

今後、民間等による宇宙活動が一層本格化するに伴い、対策を講じれば一定の効果が期待できるが、対策を講じなければ混雑化による更なるデブリ発生の可能性が高まっていくことが予想される。

2 対策に向けた基本的な考え方

デブリ対策に向けては、上記「1 現状認識」を踏まえ、以下の観点を踏まえ推進する。

- 現状を悪化させないよう、可能なことから早急に取り組む。
- デブリ発生によるリスクが高まる混雑化軌道において、衝突確率が高く、衝突した場合に多くの破片を出す大型デブリ等、宇宙環境に与える影響が大きなデブリ向けの対策に留意して取り組む。
- デブリ問題は、国際社会全体で取り組むことが必要な問題であるところ、宇宙先進国たる我が国が国際的なリーダーシップの発揮に努めつつ、米国を始めとする国々との連携を推進する。
- 我が国の宇宙産業の競争力向上の視点も留意しつつ、産学官の共通認識・相

¹⁷ 衛星の爆発等の自己破砕発生率が5年間で1/1000であることが前提。

¹⁸ 宇宙政策委員会宇宙産業・科学技術基盤部会(第45回)(2019年3月27日)、JAXA資料による。高度1,200kmに、運用期間30年、重量150kgの衛星1,000機を投入時のデブリ除去の有効性を検証。

互協力のもとで推進する。

- 従来から、国内外でデブリ対策に取り組んできた JAXA の知見・ノウハウを有効に活用する。

3 当面の取組

対策に向けた基本的な考え方を踏まえ、以下のとおり、当面の取組むべき項目とその方向性を示す。なお、本方向性を踏まえ、着実に取組を進めていくため、時間軸を加えた検討については、令和元年度中を目途に行っていくこととする。

(1) デブリ観測・予測能力の向上

- ・観測・追跡が可能なデブリ軌道を予測し、確度の高い衝突警報の発信及び回避運用に資するため、デブリの観測能力の向上のための技術開発とともに、宇宙環境モデル（軌道高度に対する密度分布等）及びデブリ推移モデルの改良に向けた取組を推進する。

(2) デブリ低減の対策

a デブリ発生の抑制

イ 衛星からのデブリ発生の抑制・管理に資するため、宇宙物体登録、宇宙活動法に基づく部品・破片の放出抑制措置¹⁹及び運用終了後の廃棄措置等への対応を促進する。

ロ 我が国の宇宙産業の競争力の観点を踏まえて、軌道投入ロケットに係るデブリ（ロケット上段部、その派生物等）低減に向けた対応方針を整理する。

ハ レーティングスキーム²⁰等当事者のインセンティブにつながる制度導入を

¹⁹ 衛星を構成する機器等の離脱・飛散防止措置、異常時における推進薬等による破砕防止措置等。

²⁰ 民間企業による自主的なデブリ対策を促すため、デブリ除去サービスを利用する衛星運用事業者等、デブリ対策を適切に行った事業者を評価する仕組み。WEF 主導で

関係者のコンセンサスを図りつつ推進する。

- ニ 衝突による衛星自身のデブリ化や副次的デブリ発生抑制に資するため、一定の防御耐性基準を示した JAXA 策定のデブリ防護に関する標準等の周知活用を促進する。

b 積極的なデブリ削減

- ・デブリ低減のためには発生を抑制するだけでなく、積極的な削減に取り組むことも重要である。このため、デブリ削減に有効な軌道上における衝突危険性の高いデブリの除去 (Reduce) に加えて、軌道上アセットの有効活用につながる修理 (Repair) 及び燃料補給 (Refuel) 等を実現するために、当面以下の技術等の開発・実証を推進する。

- ① デブリへのランデブー（接近）技術
 - ② デブリの捕獲技術
 - ③ デブリ除去衛星による大型デブリの軌道変換技術
 - ④ 高輝度レーザによるデブリ脱軌道技術
- 等

c 衝突回避

- ・デブリの発生を抑制し削減をしていく上で、衛星回避に不可欠な宇宙状況把握 (SSA)²¹の能力向上は極めて重要である。このため、SSA システムの整備・運用体制を着実に構築するとともに、国内外の SSA 関係機関間の連携の強化、衝突リスク等の情報共有体制の充実、衝突回避に資するデブリの観測能力向上のための技術開発等を推進する。

SSR(Space Sustainability Rating)として議論。

²¹ Space Situation Awareness (宇宙状況把握)。防衛省が 2023 年度の実運用に向けて構築中。これに併せて、JAXA においても、レーダ及び解析システム (接近解析・再突入解析) の能力向上、光学望遠鏡の更新に取り組中。

(3) 国際的なルール整備

a 国際的なルール、ガイドライン、標準の実施促進等

- ・ IADC スペースデブリ低減ガイドライン、COPUOS スペースデブリ低減ガイドライン及び COPUOS のワーキンググループで合意された 21 の LTS（宇宙活動の長期的持続可能性）ガイドラインが着実に実施されるよう積極的な働きかけを実施する。
- ・ IADC、ISO 等、専門家機関・標準化機関会合におけるデブリの低減・発生防止等の国際的なルール作り、技術標準化作業に関する取組に貢献する²²。
- ・ 米国の宇宙政策指令にも言及された宇宙交通管制（STM）、民間主導で軌道上サービス等の基準策定の検討を行う CONFERS²³、WEF が主導するレーティングスキーム²⁴等、宇宙活動に係る新たなルール作りに関する国際動向を把握し、積極的に必要な対応を図る。

b 国内ルール整備

- ・ 欧米、IADC、ISO における新たなルールの検討状況とともに、我が国の宇宙産業の競争力を始めとした国内事業者の状況を十分に踏まえ、宇宙活動法の関連規則（ガイドライン等）への反映について適切に検討していく。

(4) 広報・啓蒙活動

- ・ 国連における活動に加え、G7 の枠組みや、本年議長国を務める G20、WEF 等のハイレベルの議論の場等を活用し、国際社会におけるデブリ対策の促進を働き掛ける。
- ・ デブリ起因の課題や対策の必要性について、国民的な認知度を高めるため、政

²² 欧米等における、コンステレーションに留意した新たなルールの検討状況、軌道投入ロケットに係るデブリや運用終了後の人工衛星に対するルール（運用終了後の軌道上滞在期間、軌道遷移・除去成功率等）等にも留意が必要。

²³ Consortium For Execution of Rendezvous and Service Operations：ランデブー、接近運用、軌道上サービスについて、産業界で合意された基準の策定と導入を目的とするコンソーシアム。

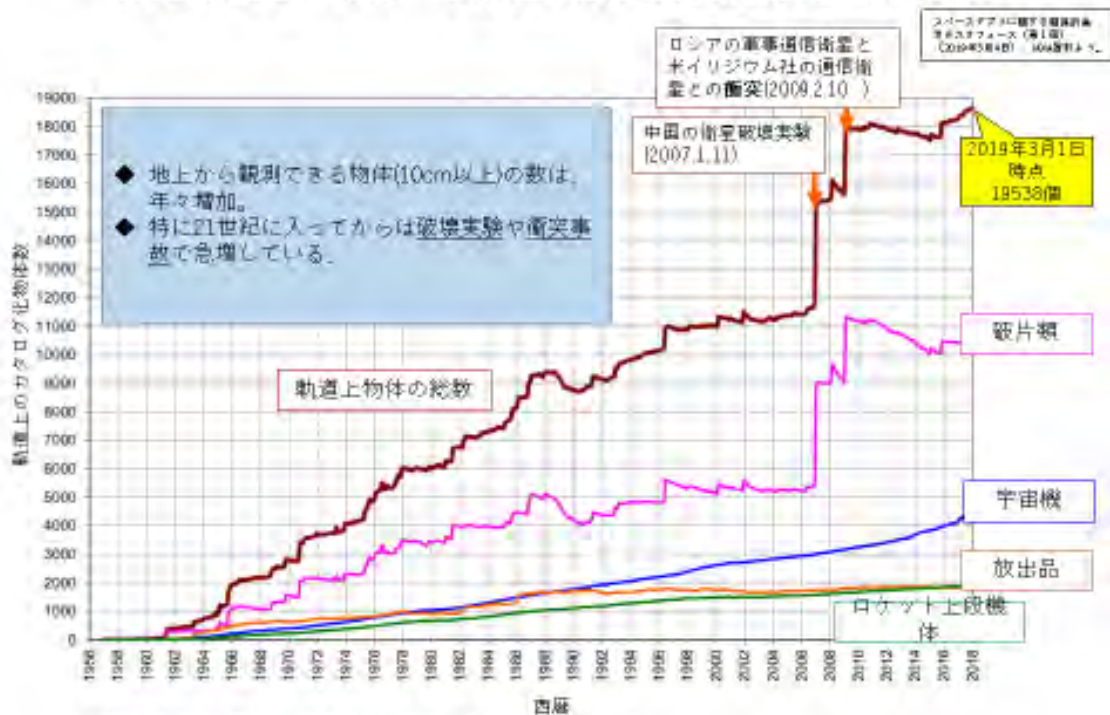
²⁴ 前掲 20.

府活動の多様な機会や効果的な媒体の活用等により、広報・啓蒙活動に取り組む。

- ・宇宙活動法に基づくデブリ対策について、国内衛星事業者及び打上げサービス事業者の着実な実施を徹底していく。

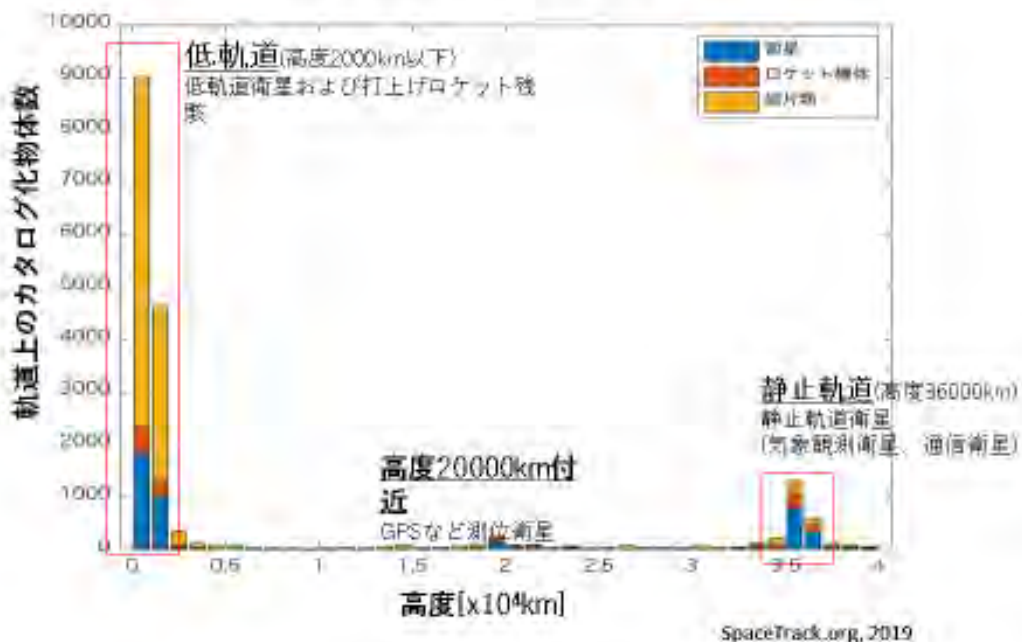
(参考)

米国が地上監視データから公表している軌道上物体の数

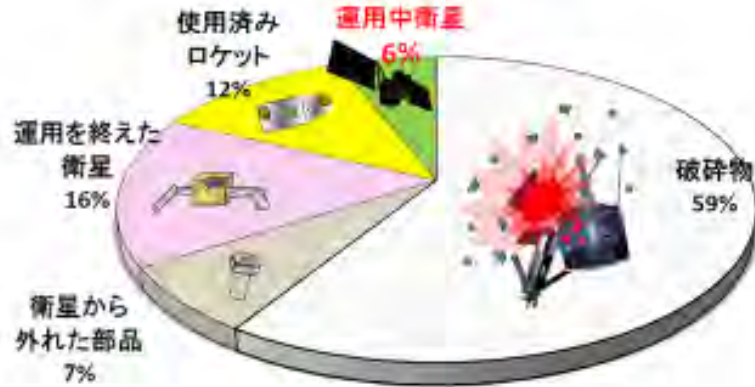


観測限界(公称値)： 低軌道10cm以上、静止軌道1m以上
出展： NASA Orbital Debris Quarterly News, Volume 22, Issues 1, February 2018

軌道上の衛星分布現状



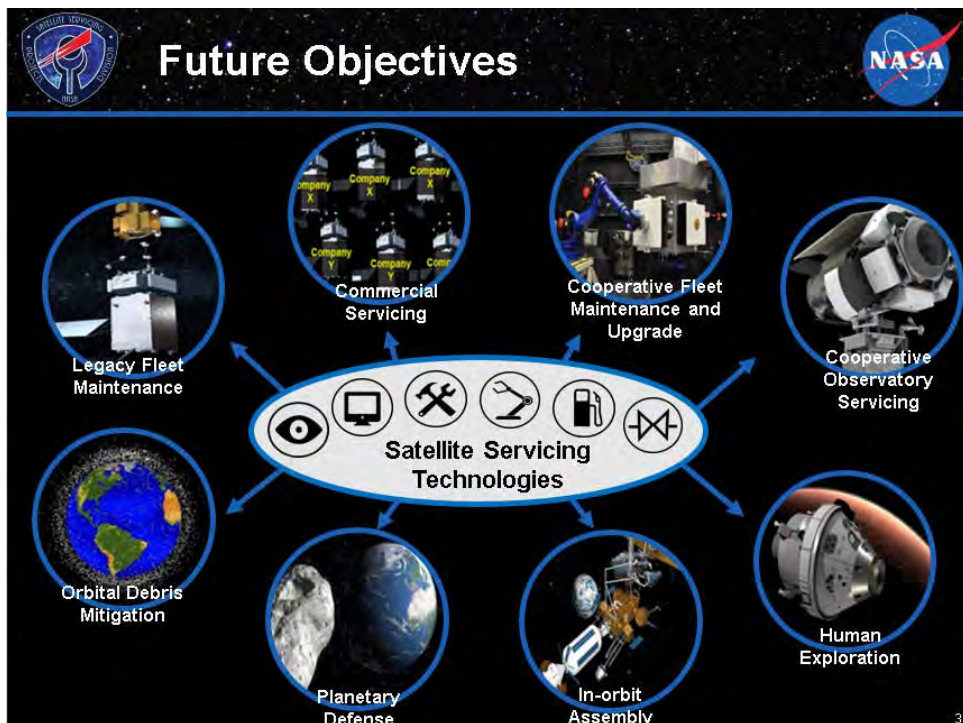
宇宙空間におけるスペースデブリの割合



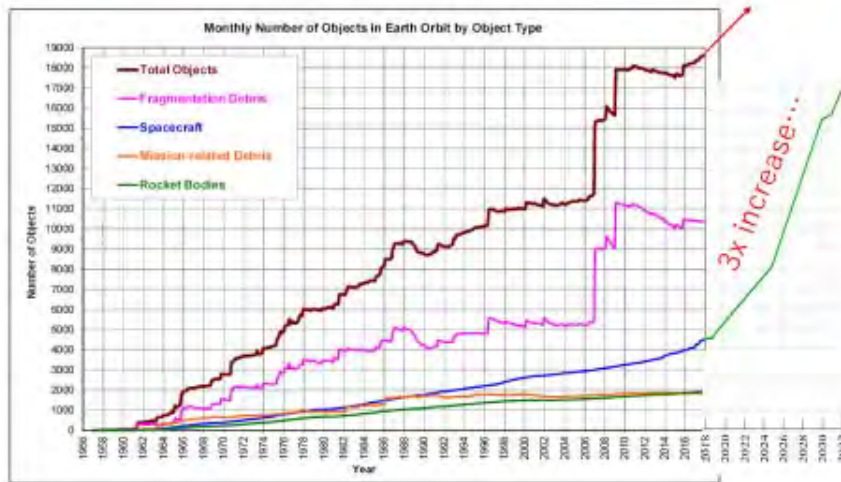
宇宙空間での飛行物体の94%がデブリ

出典：数量割合はESAの2011年2月の国連COPUOS/STSCへの報告より

拡大する宇宙空間利用のイメージ図



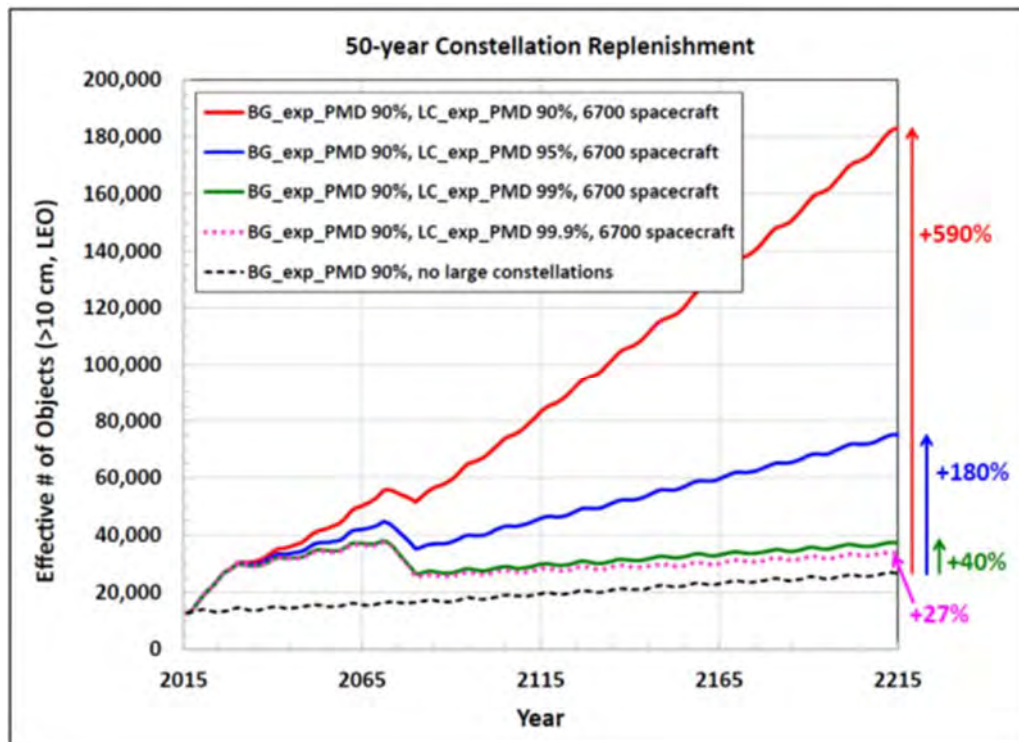
出典：Benjamin Reed, *Enabling a New Era: Restore-L*. International Symposium on Ensuring Stable Use of Outer Space(3/1, 2019).



Proposed Industry Constellation	Projected Numbers*
SpaceX	7,518
OneWeb	648
Boeing	2,900
LeoSat	78
TeleSat	292
Fleet	100
CLS	20
Sky and Space Global	200
Astrocast	64
Myriota	100

(注) Space Craft (衛星等) の増加の予測は Confers 事務局が用いたものであり、商業衛星コンステレーションの機数については事業の推移とともに変更があるもの。

出典 : David Barnhart, *On-Orbiting Services and Space Debris Removal. Consortium for Execution of Rendezvous and Servicing Operations: CONFERS*, (2/28-3/1/2019)



出典 : J.-C. LIOU et.al, *NASA ODPO's Large Constellation Study*, *Orbital Debris Quarterly News*, Vol. 22, Issue 4, September 2018.

IADC スペースデブリ低減ガイドライン（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
 - ・ ミッション中および運用終了後の破砕事故の防止、等
 - ・ 意図的な破壊行為および衝突リスクを著しく増大させるような運用の禁止、等
- ③ 運用終了後の廃棄（保護軌道域からの除去）
 - ・ 静止軌道保護域： 運用終了後に静止軌道保護域と干渉しないような領域への
廃棄、等
 - ・ 低軌道保護域： 運用終了後 25 年以内に軌道寿命が短い軌道への移動、地上落
下時のリスク低減、等
- ④ 軌道上の衝突の防止（既知物体との衝突を避ける設計、回避運用等）
(参考サイト：stage.tksc.jaxa.jp/spacelaw/world/1_02/02.J-9.pdf)

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。
(参考サイト：stage.tksc.jaxa.jp/spacelaw/world/1_02/02.J-8.pdf)

宇宙活動の長期的持続可能性ガイドライン（デブリ関連部分概要）

（A. 2）国連スペースデブリ低減ガイドライン、IADCガイドライン及びISOの技術標準等のスペースデブリ低減措置の実施。

（B. 3）スペースデブリの軌道及び物理的特性を観測，監視及び測定する関連技術の開発及び利用の促進。スペースデブリの数の変遷に関する研究及び国際的な科学協力を支援するための関連データ成果物及び手法の共有や配布の奨励。

（B. 7）COPUOSスペースデブリ低減ガイドラインに従い，衛星がミッション終了後に墓場軌道あるいは再突入軌道に適切に移動できるよう，宇宙天気の影響をあらかじめ衛星の設計及び衛星廃棄計画に組み込むことの推奨。

（B. 8）宇宙物体の追跡可能性を向上させるデザインを導入し，精確な位置確認を行うための措置をとることを推進することの推奨。

宇宙物体がミッション終了後も長期にわたって保護された宇宙領域に残存することを制限するため，宇宙物体の製造業者及び運用者及び管理者に対して，適切なスペースデブリ低減標準やガイドラインに則した宇宙物体を設計するよう，奨励。

宇宙活動の長期的持続可能性の促進のための，宇宙物体の運用や廃棄に関する情報共有の推奨。

（C. 4）政府と非政府組織の協力

（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