

宇宙活動法の見直しに向けた要望

令和6(2024)年10月31日
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

意見①:スペースデブリ対策を求める領域の指定

意見②:ロケット上段に係る「宇宙空間の有害な汚染の防止」

意見③:法に記載された終了措置内容の見直し

参考:ガイドライン等に対する意見(主なものを紹介)

- 低軌道保護領域への干渉の制限(25年ルール)
- 確実な廃棄のための対策(廃棄成功確率)
- 地上への落下リスクの低減(傷害予測数評価)

背景

- 活動法の「人工衛星」の定義には、地球周回衛星だけでなく惑星探査機や月面ローバーも含まれている。
- 活動法の法律施行規則 第二十二條(以下)では、スペースデブリ低減に係る国際ガイドライン等を踏まえ「機器の飛散を防ぐ仕組み」や「破砕を予防する仕組み」が求められているが、適用対象が「人工衛星」であるため惑星探査機やローバーにも上記対策が課されている。
- 一方、スペースデブリ低減に係る国際ガイドライン等では、スペースデブリの定義を「地球を周回する軌道にある、または大気に再突入する」と限定しており、地球周回軌道外における部品の飛散や破砕対策は求めている。(次ページ参照)

意見

- 惑星探査機やローバー等が地球周回軌道外で部品を放出するような行為が活動法の許可の条件から除外されるよう、法律施行規則第二十二條で求める飛散や破砕の防止を「地球周回軌道における」と限定してはどうか。

人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律施行規則

(人工衛星の構造に関する基準)

第二十二條 法第二十二條第二号の内閣府令で定める基準は、次のとおりとする。

- 一 人工衛星を構成する機器及び部品(以下「機器等」という。)の飛散を防ぐ仕組みが講じられていること。
- 二 人工衛星を構成する機器若しくは部品を分離するもの又は人工衛星を他の人工衛星等に結合するものにあつては、他の人工衛星の管理に支障を及ぼさない仕組みが講じられていること。
- 三 人工衛星の位置、姿勢及び状態の異常を検知したとき、当該人工衛星の破砕を予防する仕組みが講じられていること。
- 四 …略…
- 五 …略…

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

For the purpose of this document, space debris is defined as all man-made objects, including fragments and elements thereof, in Earth orbit or re-entering the atmosphere, that are non-functional.

宇宙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

Space debris are all human made objects including fragments and elements thereof, in Earth orbit or re-entering the atmosphere, that are non-functional.

- ✓ 地球を周回する軌道にある、または大気に再突入する、用をなさない人工物体とその破片や部品を指す。

注:地球を周回する軌道の外にある場合は、用をなさない人工物であっても(これらの要求が管理対象とする)スペースデブリには該当しない。

国際標準化機構(ISO)スペースデブリ低減要求

objects of human origin in Earth orbit or re-entering the atmosphere, including fragments and elements thereof, that no longer serve a useful purpose

Note 1 to entry: Spacecraft in reserve or standby modes awaiting possible reactivation are considered to serve a useful purpose.

- ✓ 地球を周回する軌道にある、または大気に再突入する、もはや役に立たない人類起源の物体と、その破片や部品を指す。(再起動の可能性を有する保存モードやスタンバイモードにある宇宙機は、役に立つものと考えられる。)

背景

- UAEの火星探査機をH-IIAロケットで打ち上げた際、人工衛星に適用されている惑星保護の要求がロケットの打上げ許可審査では課されていないことが判明した。
- 火星探査機を打ち上げるロケットの上段(H-IIAの場合は第2段)は、能力的に火星軌道に到達するため、宇宙空間探査等条約第九条に定められた「月その他の天体を含む宇宙空間の有害な汚染の防止」の実効的な要求として国際宇宙空間研究委員会(COSPAR)が定める惑星保護方針(Planetary Protection Policy)に沿って、火星への衝突確率を評価することが求められている。
- 人工衛星では法第二十二条第二項により惑星保護の対応が義務化されているところ、ロケットに対しては同項が適用されていないために、惑星保護の要求が課されていないものと推測される。

意見

- ロケットの上段(人工衛星と同様に軌道を周回する能力を有するもの)に対しても、法第二十二条第二項で規定された宇宙空間の有害な汚染等の防止に係る要求を課してはどうか。

人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律

第三章 人工衛星の管理に係る許可等

(許可の基準)

第二十二条 内閣総理大臣は、第二十条第一項の許可の申請が次の各号のいずれにも適合していると認めるときでなければ、同項の許可をしてはならない。

一 …略…

二 人工衛星の構造が、その人工衛星を構成する機器及び部品の飛散を防ぐ仕組みが講じられていることその他の宇宙空間探査等条約第九条に規定する月その他の天体を含む宇宙空間の有害な汚染並びにその平和的な探査及び利用における他国の活動に対する潜在的に有害な干渉(次号及び第四号二において「宇宙空間の有害な汚染等」という。)の防止並びに公共の安全の確保に支障を及ぼすおそれがないものとして内閣府令で定める基準に適合するものであること。

背景

- 人工衛星の管理の許可に係る申請では、法第二十二條第4項の分類(イ～ニ)に沿って終了措置の方法を識別することとされているが、同項に規定された内容が国際ガイドライン等で規定された終了措置の形態と必ずしも整合しておらず、また法の規定のため技術の進捗等に対する柔軟な見直しが困難な状態にある。
- 特に第四項ハについては、国際ガイドライン等で規定されない日本独自の措置として定められており、今後他国基準等との整合をはかる上で支障となる懸念がある。
(詳細は次ページ参照)

意見

- 法の定める終了措置としてはより概念的な規定に留め、具体的な実施方法等については施行規則や技術ガイドラインで定めるよう見直してはいかがか。

人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律 第三章 人工衛星の管理に係る許可等

(許可の基準)

第二十二條 内閣総理大臣は、第二十条第一項の許可の申請が次の各号のいずれにも適合していると認めるときでなければ、同項の許可をしてはならない。

- 一 …略…
- 二 …略…
- 三 …略…

四 終了措置の内容が次のイからニまでのいずれかに該当するものであること。

静止軌道保護領域との干渉防止として、「高度を下げて」(中高度域に)廃棄するケースもある。
低軌道(25年ルール適合)も含め、「他の人工衛星の管理に支障を及ぼすおそれがない軌道に移動した上で制御をやめること」で十分と考えられる。

イ 人工衛星の位置、姿勢及び状態を制御することにより、当該人工衛星の高度を下げて空中で燃焼させること(これを構成する機器の一部を燃焼させることなく地表又は水面に落下させて回収することを含む。)であって、当該人工衛星の飛行経路及び当該機器の一部の着地又は着水が予想される地点の周辺の安全を確保して行われるもの

ロ 人工衛星の位置、姿勢及び状態を制御することにより、当該人工衛星の高度を上げて時の経過により高度が下がることのない地球を回る軌道に投入することであって、他の人工衛星の管理に支障を及ぼすおそれがないもの

ハ 人工衛星の位置、姿勢及び状態を制御することにより、当該人工衛星を地球以外の天体を回る軌道に投入し、又は当該天体に落下させることであって、当該天体の環境を著しく悪化させるおそれがないもの

ニ イからハまでに掲げる措置を講ずることができない場合において、誤作動及び爆発の防止その他の宇宙空間の有害な汚染等を防止するために必要なものとして内閣府令で定める措置を講じ、並びに人工衛星の位置、姿勢及び状態を内閣総理大臣に通知した上で、その制御をやめること。

国際標準では規定されていない終了措置の形態。スペースデブリ発生防止の観点では、保護領域との干渉の制限、および破碎防止等の措置が採られればよい。惑星保護の要求として汚染防止の要求はあるが、当該要求は終了措置に限定されない。よって、ハは削除した方がよい。

爆発等の防止はロにおいても求められる措置である

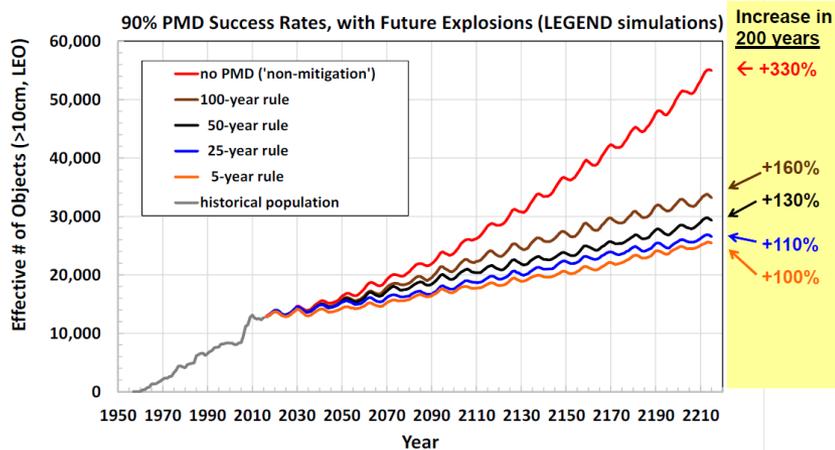
参考: ガイドライン等に対する意見 (主なものを紹介)

■ 低軌道における終了措置後の軌道寿命年限(5年、25年、+ α)と長期的な物体数推移への影響

J.-C. Liou, PhD, Chief Scientist for Orbital Debris, NASA
8th Satellites End of Life and Sustainable Technologies Workshop

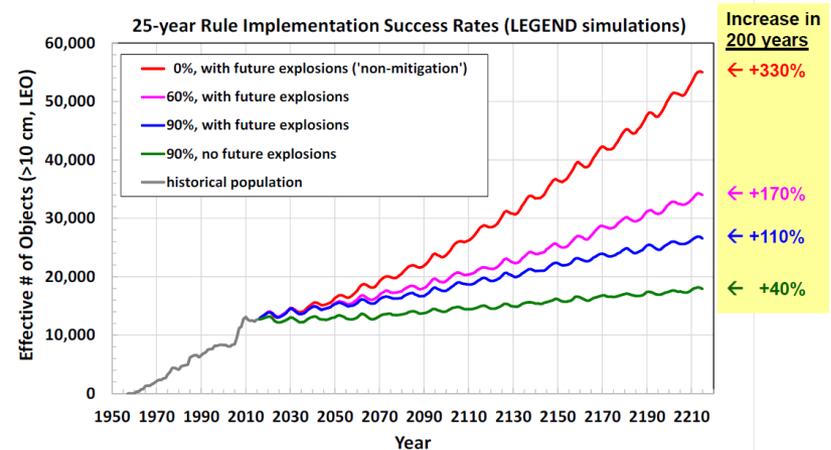
National Aeronautics and Space Administration

Effectiveness of the 25-year Rule



National Aeronautics and Space Administration

PMD Success Rates



低軌道保護領域で運用した人工衛星の終了措置として、措置後の軌道寿命(大気圏内に落下するまでの期間)が少なくとも25年以内となる軌道まで降下させることが求められている。

近年、米国のFCCが25年という年限を5年に短縮するよう規制を見直したが、上図に示すNASAの評価によれば、この変更による長期的なデブリ低減効果は限定的(200年間で10%)で、それよりも基準値への適合率高める方が物体数抑制への寄与が大きいとされている。

上記を踏まえ米国政府のベストプラクティス(ODMSP)は引き続き25年を基準としており、またIADCでも25年を維持していることから、日本政府としても引き続き25年ルールを基準として適否を判断するのが妥当である。

■ 廃棄成功確率の評価について

前頁で示したように、25年ルールへの適合率を向上させることは長期的なスペースデブリの増加を抑える上で重要である。ただし、現在IADCや他の国際標準等が基準としている「廃棄成功確率(Probability of successful disposal) > 0.9」という基準値は、もともと前ページで示したようなスペースデブリ等の物体数の推移を予測評価する際の前提条件として設定された値であることに留意する必要がある。

つまり、環境予測の観点で「10機中9機が25年ルールを満足する」前提が成り立てば、(結果として)低軌道の物体数増加を一定の範囲に抑えられる、という論旨であったところ、ISOでの工業規格化等の議論を経て個々の衛星開発にて適用、検証可能な「廃棄機能の信頼度(reliability) > 0.9」という解釈による評価が行われるようになった、というのが実態である。しかし、システムの信頼度計算の根拠となる構成品の故障率は、採用する規格によって計算方法が異なり、NASAのように独自のデータベースを整備して部品の故障実績(実証信頼度)をベースに評価している組織もあり、国際的に公平な評価が行える環境が整っているとは言い難い。評価法についてはISOでも引き続き議論になっている。

このため、人工衛星の廃棄成功確率の適否は単純な信頼度の計算結果に傾倒せず、従来通り、寿命限定品目の作動回数や推進剤の残量管理なども含めた総合的な評価によって行うのが妥当と考える。

廃棄成功確率の適否判定におけるシステム信頼度評価のあり方については国際的な議論を継続し、評価法に対する合意形成がなされた段階で導入を検討するのが望ましい。

■ 傷害予測数の基準値の位置づけ

今回の活動法改正において制御再突入の義務化の検討がなされているが、地上の安全確保の観点で最も好ましい対策は、大気圏再突入時の加熱により溶融して完全に消滅するような部材でシステムを構成することである。

しかしながら、実際にはロケットだけでなく人工衛星においても化学推進系など機能上高温に晒される部位があり、そのような部位には十分な耐熱性を有する部材を使用せざるを得ない。このため、国際標準等においては大気圏で溶融し切らずに地表に落下する破片があることを前提として、その面積や数量、落下し得る地域の人口密度、各地域への落下確率などにに基づき、ミッション当たりの被害者数(落下物の影響を直接的に受ける可能性がある人数)を傷害予測数として評価している。

傷害予測数の基準値はシステムの規模によらず同一であることから、例えばキューブサットに対して大型衛星の方が相対的に厳しい要求を課されていることになる。また、コンステレーション衛星のように数千機で一つのサービスが提供されているようなミッションに対しては、現在の一機毎の基準値は不十分(当該ビジネスモデルが優遇され過ぎている)ではないか、という議論がある。

1×10^{-4} 人以下という国際的な基準値に配慮して地上のリスク低減を推進することは大変重要ではあるが、引き続き数値の大小だけでなく評価対象システム規模やミッション内容、また諸外国の事例等も踏まえて総合的に適否の判定を行うのが妥当と考える。

Backup

Inter-Agency Space Debris Coordination Committee



Source: IADC Space Debris Mitigation Guideline

IADC-02-01 Rev. 3

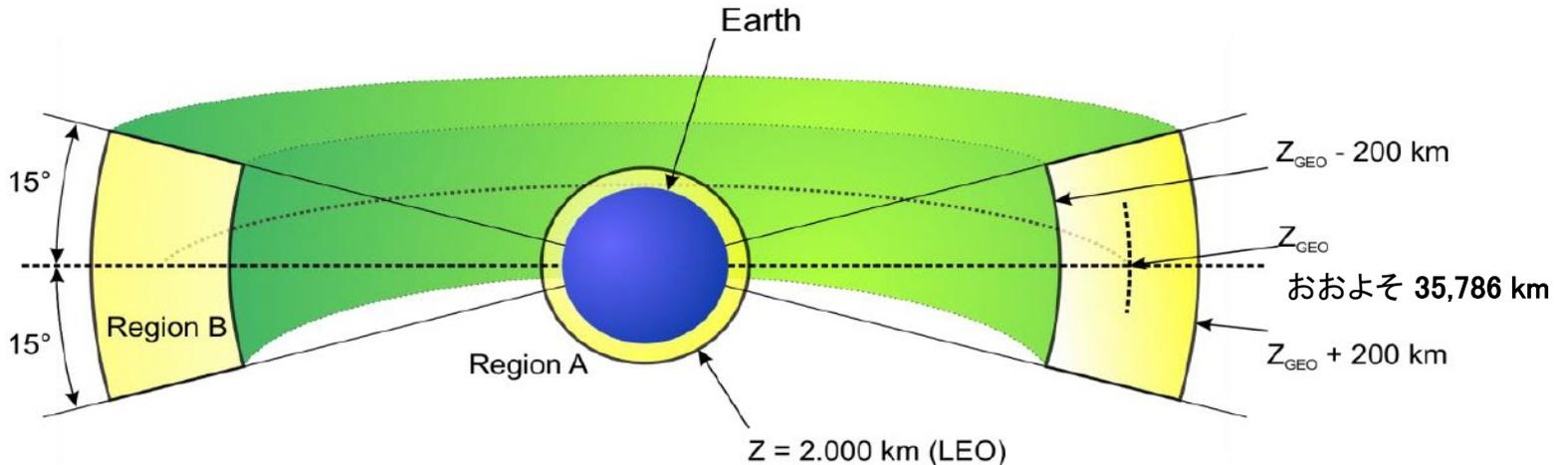


Figure 1: Protected regions

保護領域 (Protected regions)

IADCのスペースデブリ低減ガイドラインでは、上記”Region A(低軌道)”および”Region B(静止軌道)”を保護領域と定め、運用終了後の物体が当該領域に長期間留まる、あるいは干渉することを制限するよう求めている。

その他、一般的なデブリ低減策として、分離物の制限、破砕の防止、衝突の防止などが地球を周回する軌道で運用される宇宙機に求められている。

ISOのデブリ低減要求(ISO24113)も基本的にIADCガイドラインに準じているが、工業規格という性格上、可能なものについて極力数値要求化するように調整されている。

2023/9/7 時点の公開情報を基に集計

うち、4,283個がStarlink衛星



大気抵抗などにより、25年以内にLEOから除去される(地球に落下する)おおよそのボーダーライン

デブリが占める割合は約 94%

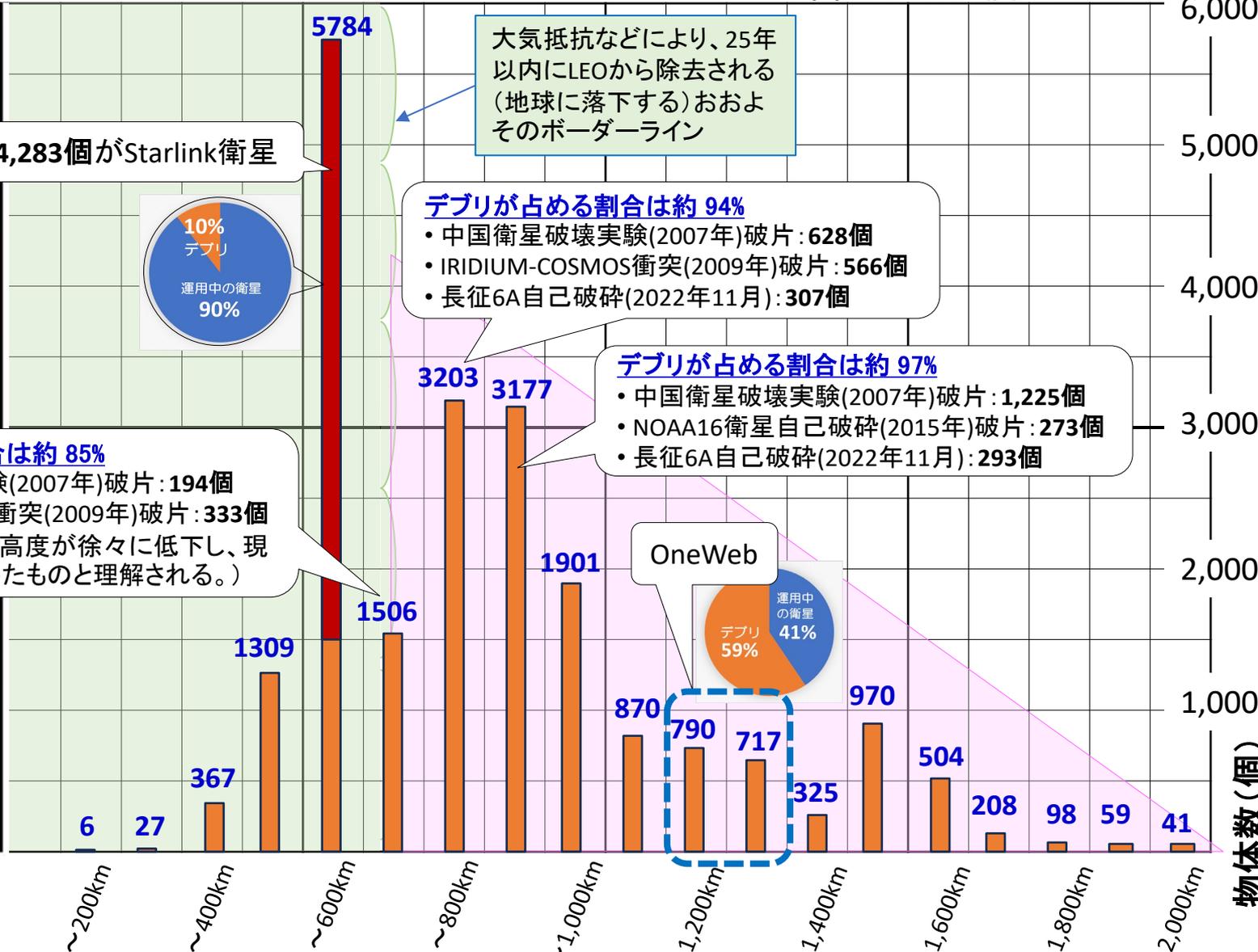
- 中国衛星破壊実験(2007年)破片: 628個
- IRIDIUM-COSMOS衝突(2009年)破片: 566個
- 長征6A自己破砕(2022年11月): 307個

デブリが占める割合は約 85%

- 中国衛星破壊実験(2007年)破片: 194個
- IRIDIUM-COSMOS衝突(2009年)破片: 333個
(時間と共に破片の高度が徐々に低下し、現在の高度帯に至ったものと理解される。)

デブリが占める割合は約 97%

- 中国衛星破壊実験(2007年)破片: 1,225個
- NOAA16衛星自己破砕(2015年)破片: 273個
- 長征6A自己破砕(2022年11月): 293個

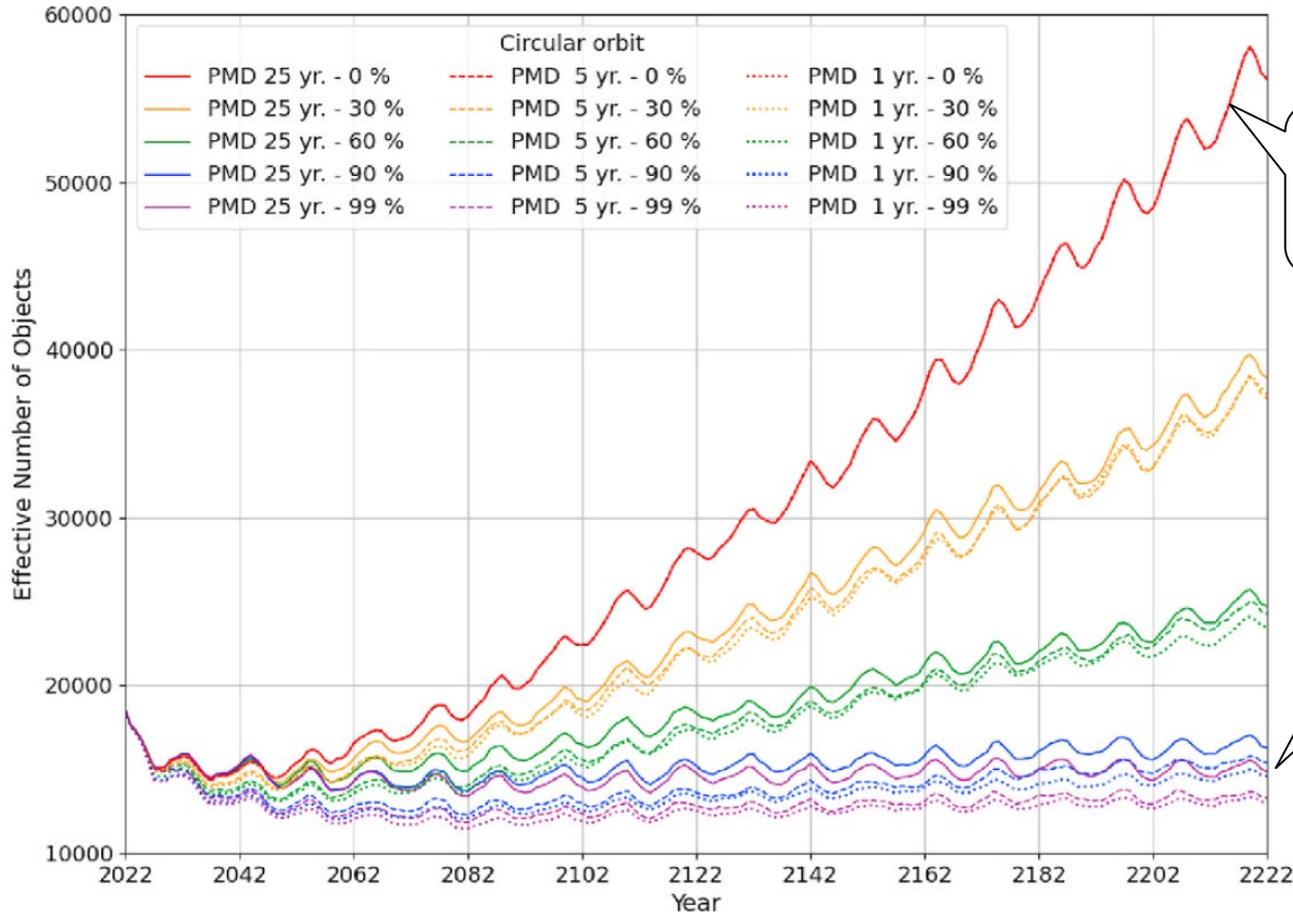


物体数(個)

平均高度 (km)

■ 終了措置後の軌道寿命年限(1年、5年、25年)と、適合率の違いが長期的な物体数推移に及ぼす影響

S. Kawamoto et al.
Acta Astronautica 219 (2024) 653–661



誰もルールを守らなければ、要求が異なっても結果は同じ

年限によらず、適合率が9割を超えると長期的に物体数はほぼ安定する。

JAXAによる宇宙物体数の推移評価

終了措置後の軌道寿命年限(要求値)よりも要求適合率の方が、長期的な物体数増加に対する寄与がはるかに大きい。P6に示したNASA評価と同一条件ではないものの、評価結果は全く同じ傾向を示している。