軌道利用の安全に係るレポート

(JAXA Space Operations Safety Report)

2026 年 10 月 Volume 4

目次

1 目的 4
2 軌道上物体の分布 5
2.1 宇宙機打上げ機数および再突入物体数の変遷 5
2.1.1 宇宙機打上げ機数 5
2.1.2 再突入物体数 7
2.2 観測可能な軌道上物体の分布 8
2.2.1 地球周回軌道全体 9
2.2.2 地球低軌道保護域 13
2.2.3 地球 12 時間周期軌道域 15
2.2.4 静止軌道保護域 16
2.3 破片発生の原因 17
2.4 月、火星関連の状況 22
3 軌道利用の安全に係るトピックス 24
3.1 HTV-X3 号機搭載微小デブリセンサ（SDM）の開発 24
3.1.1 近年高まる「微小デブリ」衝突リスク 24
3.1.2 微小デブリ計測装置（Spece Debris Monitor）とは 25
3.1.3 HTV-5 での飛行実証 25
3.1.4 HTV-X3 搭載「軌道上微小デブリ観測装置(MACS)」への展開 26
3.1.5 SDM が切り拓く未来 27
3.2 オーストラリアの海岸で球状再突入物体を発見 28
4 国内外のスペースデブリ対策に関する動向 29
4.1 国際的な動向 29
4.1.1 UN COPUOS 29
4.1.2 IADC 29
4.1.3 ISO 30
4.2 米国 30
4.3 欧州 31
4.4 日本 31
5 学会・ワークショップ情報 32
5.1 第 12 回 JAXA スペースデブリワークショップ 32
6 参考文書およびデータベース 33
付録 I 用語集（JMR-003E スペースデブリ発生防止標準等より） 34

図・表目次

図 2.1.1- 1 宇宙機打上げ機数の変遷 5
図 2.1.1- 2 宇宙機打上げ機数の変遷（2019 年まで) 6
図 2.1.2- 1 再突入物体数の変遷 7
図 2.2- 1 CSpOC にカタログ化された軌道上物体数の変遷 8
図 2.2.1- 1 平均軌道高度別の軌道上物体数 9
図 2.2.1- 2 軌道傾斜角別の軌道上物体数 10
図 2.2.1- 3 軌道上物体数の国別割合 11
表 2.2.1- 1 各国の軌道上/再突入物体数(物体数上位 10 か国) 12
図 2.2.2- 1 地球低軌道保護域に干渉する物体の種類別物体数の割合 13
図 2.2.2- 2 平均軌道高度別の軌道上物体数(地球低軌道保護域) 14
図 2.2.3- 1 平均軌道高度別の軌道上物体数（18,800km~25,000km) 15
図 2.2.4- 1 静止軌道保護域に干渉する物体の種類別物体数の割合 16
図 2.2.4- 2 静止軌道保護域の物体のうち運用中の宇宙機の割合 16
図 2.3- 1 発生原因別破砕件数の割合 17
図 2.3- 2 発生原因別破片発生数の割合 18
図 2.3- 3 システム別破砕件数の割合 19
表 2.3- 1 破片発生数の多い破砕事象トップ 10 19
図 2.3- 4 打上げから破砕までに経過した期間 20
表 2.3- 2 2025 年 1 月 1 日以降、10 個以上の破片が新たにカタログ化された事象 21
図 2.4- 1 月関連の軌道上物体の打上げ機数の遷移 23
図 2.4- 2 火星関連の軌道上物体の打上げ機数の遷移 23
図 3.1.1- 1 微小デブリに関するデータカバー率 24
図 3.1.2- 1 SDM の概要 25
図 3.1.4- 1 NASA デブリセンサ（MACS）構成及び計測対象 26
図 3.1.4- 2 MACS（左）及び SDM（右）の外観 26
図 3.1.4- 3 MACS/SDM の HTV-X3 号機への搭載イメージ 27
図 3.2- 1 発見された球状物体の写真 28

1 目的

近年の宇宙開発の活発化により、軌道上物体数は増加の一途をたどっており、観測可能な物体数だけでも約 35,000 個が存在する。特に破壊実験、破砕事故による破片類の発生に加え、大規模衛星コンステレーションや小型衛星の増加により、軌道上物体数は増加している。この結果、宇宙機と破片類の衝突リスクや宇宙機間の接近事象が増加しており、宇宙機運用への影響は無視できない状況となっている。

また、利用価値の高い軌道(主に地球低軌道、静止軌道)は国際的に保護軌道域として設定されており、運用終了後のロケット上段や衛星、それらから生じた破片などの、いわゆるスペースデブリを低減するための対策が重要視されている。なお、本レポートにおける「軌道上物体」とは、宇宙機及びその他人工物（ロケット上段や破片類）を指し、自然由来のメテオロイドは対象外としている。持続可能な宇宙開発のため、軌道上環境の維持は不可欠であり、ロケットおよび衛星の設計者、運用者を始めとする全てのステイクホルダーは軌道上環境の状況を把握しておくことが重要である。

本レポートは 2026 年 9 月 1 日時点で入手できる情報に基づき、軌道上物体の分布、破砕事象の発生状況、国内外のスペースデブリ対策の動向等の情報を提供するものである。2 項では軌道上物体の分布に関する情報を示す。3 項では近年の軌道上安全に関わるトピックスを紹介する。4 項ではスペースデブリ対策に関する動向を示す。5 項では軌道上物体に関する学会・ワークショップの情報を紹介する。6 項では本レポートを作成するにあたり参考とした文書やデータベースを示す。

2 軌道上物体の分布

2.1 宇宙機打上げ機数および再突入物体数の変遷

2.1.1 宇宙機打上げ機数

これまでに打ち上げられてきた宇宙機の数量の変遷を質量区分で仕分けて図 2.1.1-1 に示す。図 2.1.1-1 では、前半の変化が相対的に小さくなり、その傾向を読み取りにくいため、2019 年までの推移を図 2.1.1-2 に示す。なお、これらの図の対象としては、低軌道(LEO)、12 時間周期軌道(MEO)（準同期軌道とも呼ばれる）、静止軌道(GEO)で代表される地球周回軌道に成功裏に打ち上げた衛星に加えて、惑星探査軌道、ラグランジェ軌道等の全ての宇宙活動を含めている。ただし、天体の周囲を 1 周できるだけの速度に達しておらず、宇宙空間に到達した後、再び大気圏へ落下する亜軌道(suborbital)に打ち上げられた人工物体は除いている。

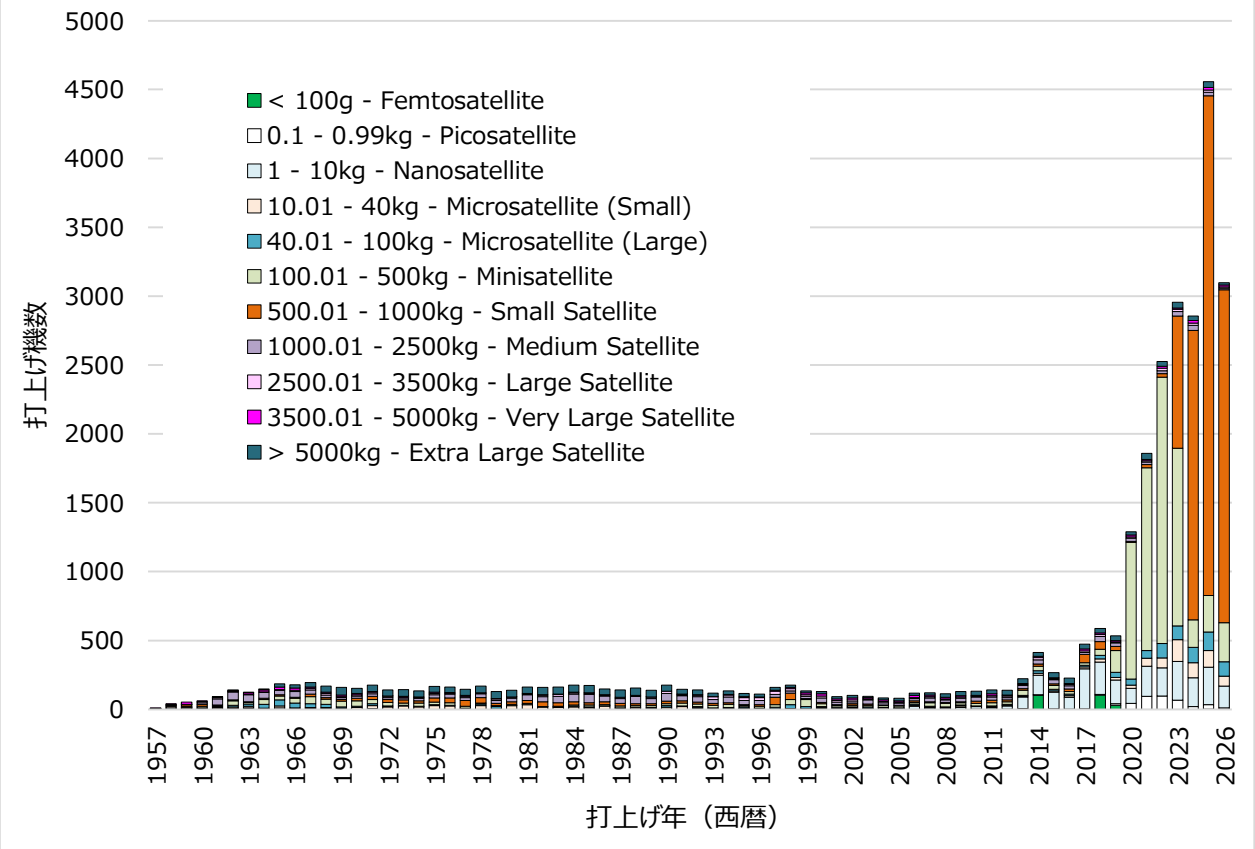

図 2.1.1- 1 宇宙機打上げ機数の変遷

(出典：Seradata@2026.09.01)

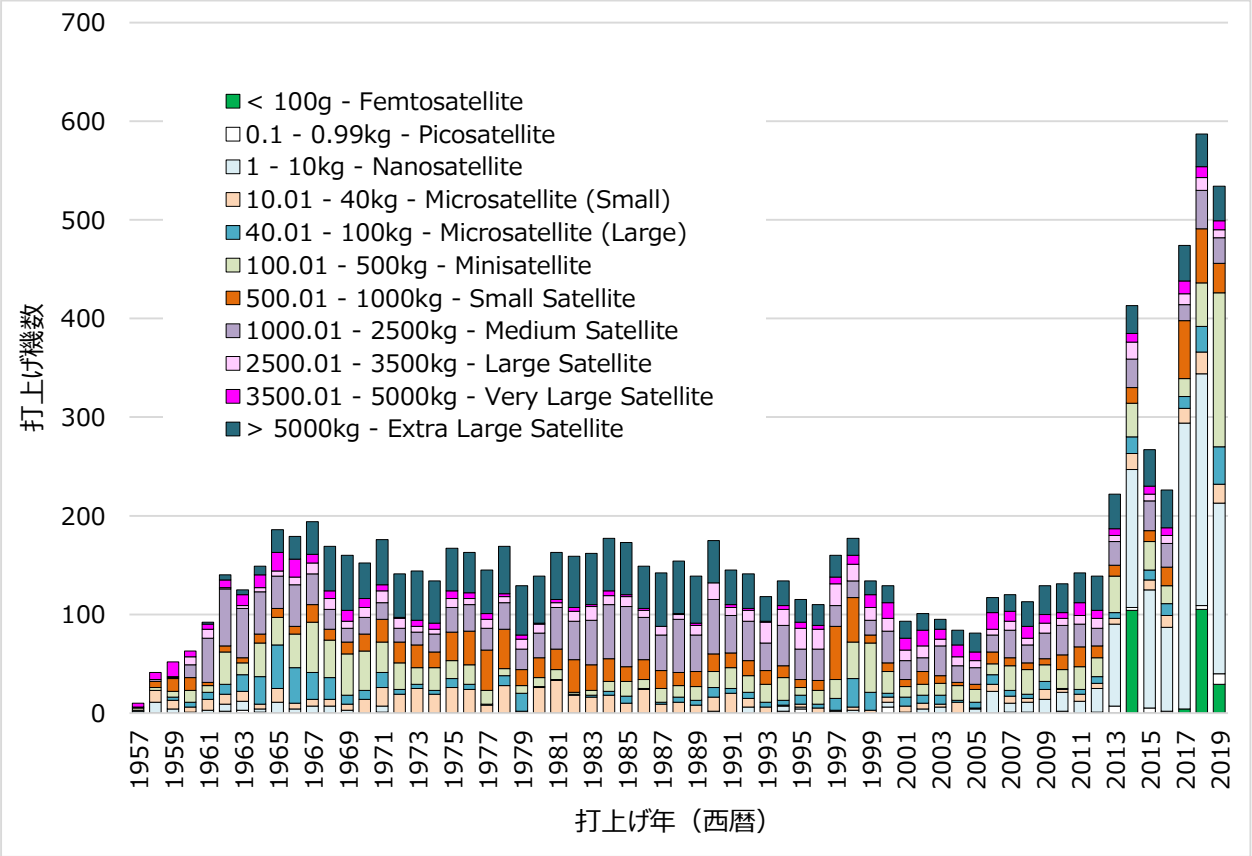

図 2.1.1- 2 宇宙機打上げ機数の変遷（2019 年まで）

(出典：Seradata@2026.09.01)

2.1.2 再突入物体数

再突入物体数の変遷を図 2.1.2-1 に示す。近年の軌道上物体数の増加に伴い、今後の再突入物体数の増加が予想される。2020 年代では太陽活動（コロナ質量放出）により大気の温度・密度が上昇したことで再突入数が増加している。特に、高度 300 km 付近の衛星が急速に落下している。このため再突入による地上への影響に対する関心が高まっている。スペースデブリ低減に関する軌道上からの廃棄について、国内外の対策は本レポート 4 項を参照。

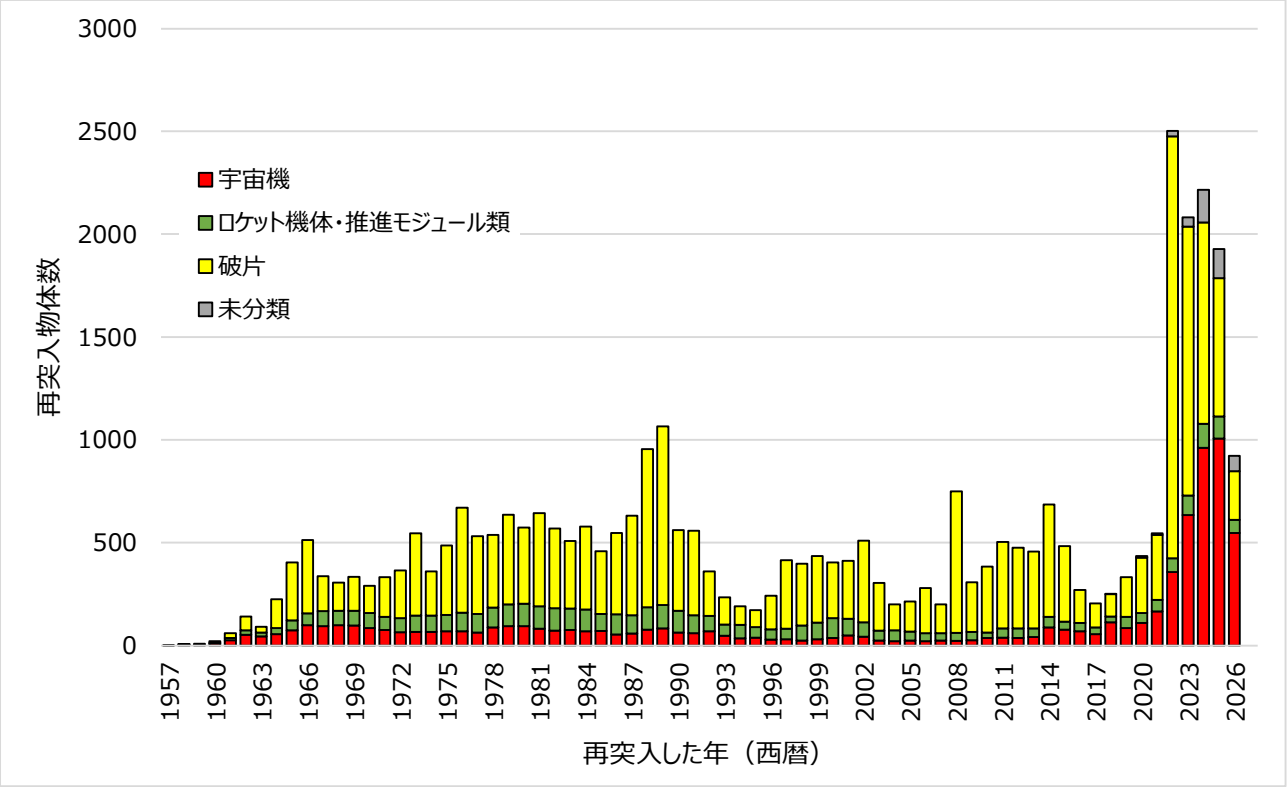

図 2.1.2- 1 再突入物体数の変遷

(出典：CSpOC@2026.09.01)

2.2 観測可能な軌道上物体の分布

本項目では、米国の CSpOC(Combined Space Operations Center)が地上設備および軌道上設備で観測した物体（低軌道で直径 10 cm 以上、静止軌道で直径 1 m 以上）を登録（カタログ化）したデータベース(Space-Track)を用いて、軌道上物体の分布状況を示す。

CSpOC にカタログ化された軌道上物体数の変遷を図 2.2-1 に示す。これは、各年に打ち上げられたロケット・宇宙機、それらから放出された物体、および破砕現象によって発生した破片類等の物体数を示しており、各年の値は、その年までにカタログ化された物体数の累積値から、再突入した物体数の累積値を差し引くことで算出している。なお、図 2.2-1 においては、軌道情報を喪失した物体や、地球周回軌道にない物体（惑星探査機など）が 600 件程度含まれる。また、実際に宇宙機が軌道上へ投入されてから、あるいは破片が発生してから、カタログに登録されるまでには時間差が生じる場合がある。

宇宙機打上げ機数の増加や破砕事故や破壊実験による破片の増加に伴い、カタログ化された軌道上物体数も継続的に増加している。2026 年 9 月 1 日時点では、観測できる物体数だけで約 35,000 個が存在しており、軌道上環境の混雑化に伴う衝突リスクの増大が懸念されている。

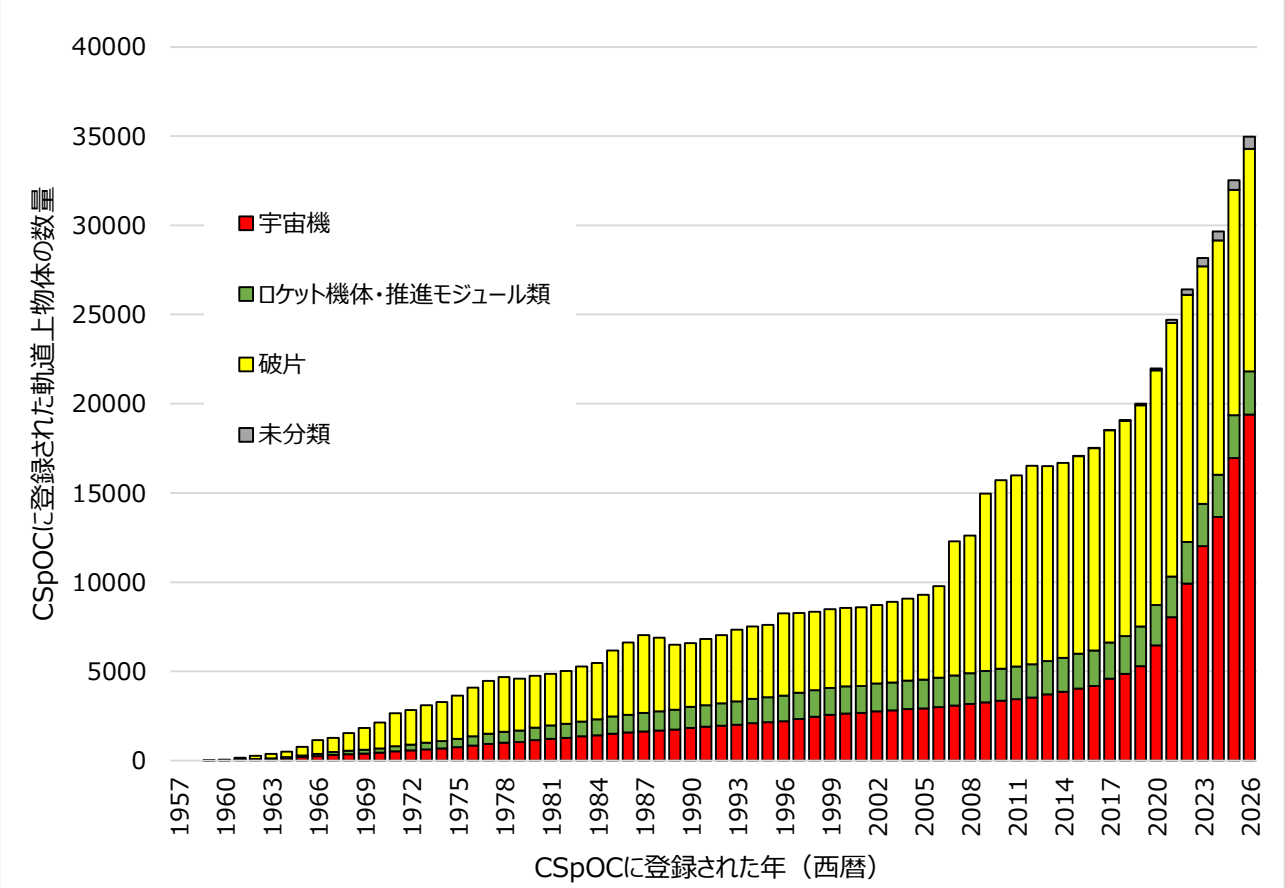

図 2.2- 1 CSpOC にカタログ化された軌道上物体数の変遷

(出典：CSpOC@2026.09.01)

2.2.1 地球周回軌道全体

図 2.2.1-1 に平均軌道高度別の物体数を示す。軌道上物体のうち、ほとんどの物体は地球低軌道保護域に存在しており、2026 年 9 月現在で 25,000 個を超える。次いで、静止軌道保護域付近(静止軌道高度である 35,786 km 付近)に 1,200 個を超える物体が存在している。また、地球 12 時間周期軌道域と呼ばれる高度 20,000 km 付近の物体数も比較的多くなっている。

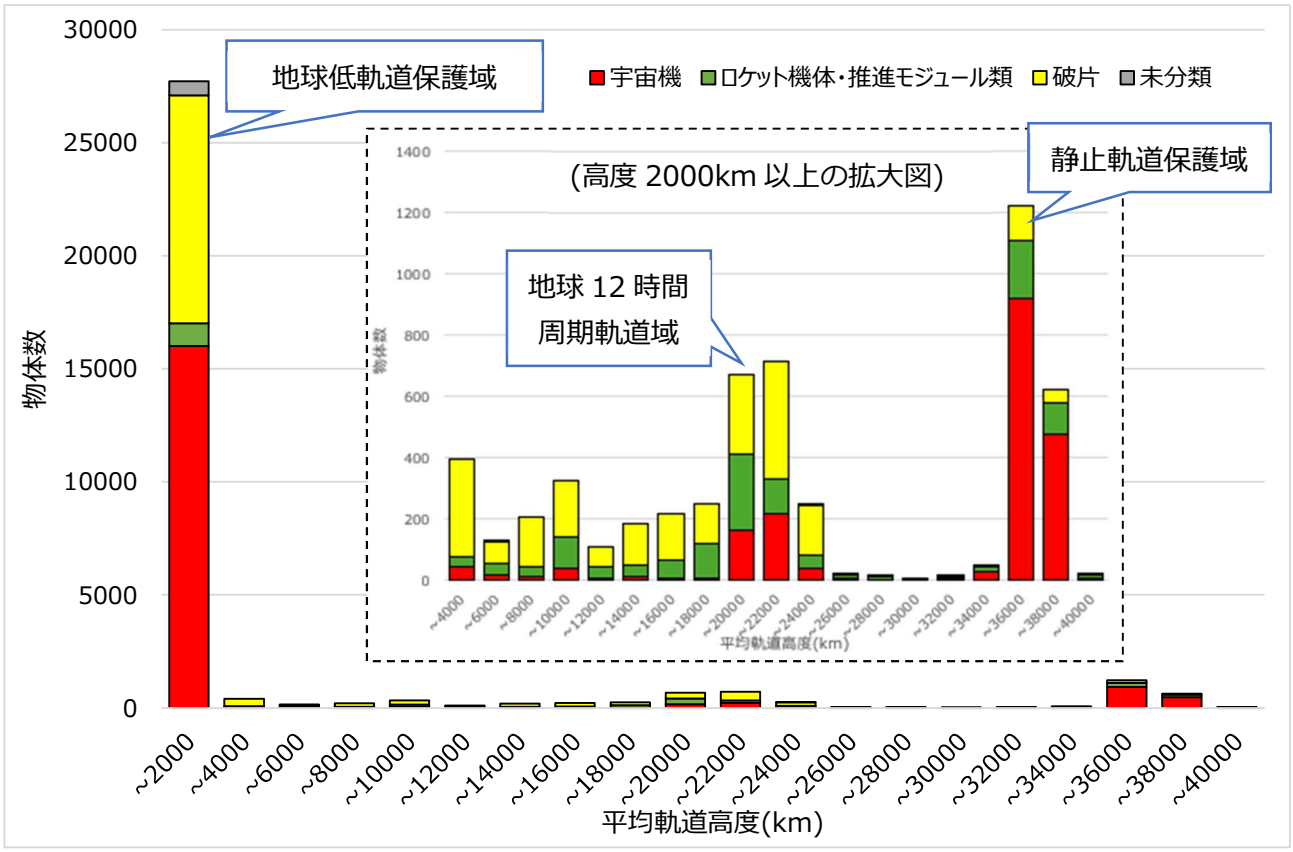

図 2.2.1- 1 平均軌道高度別の軌道上物体数

(出典：CSpOC@2026.09.01)

軌道上物体の集中度を表すパラメータ[1]としては、高度に加え、軌道傾斜角がある。図 2.2.1-2 に軌道傾斜角別の軌道上物体数を示す。衛星ミッションに依存した特定の傾斜角（例えば地球観測衛星であれば太陽同期軌道の 100 度弱、大規模コンステレーションの Starlink であれば 55 度弱）に集中していることが分かる。(6 項(7)参照。)

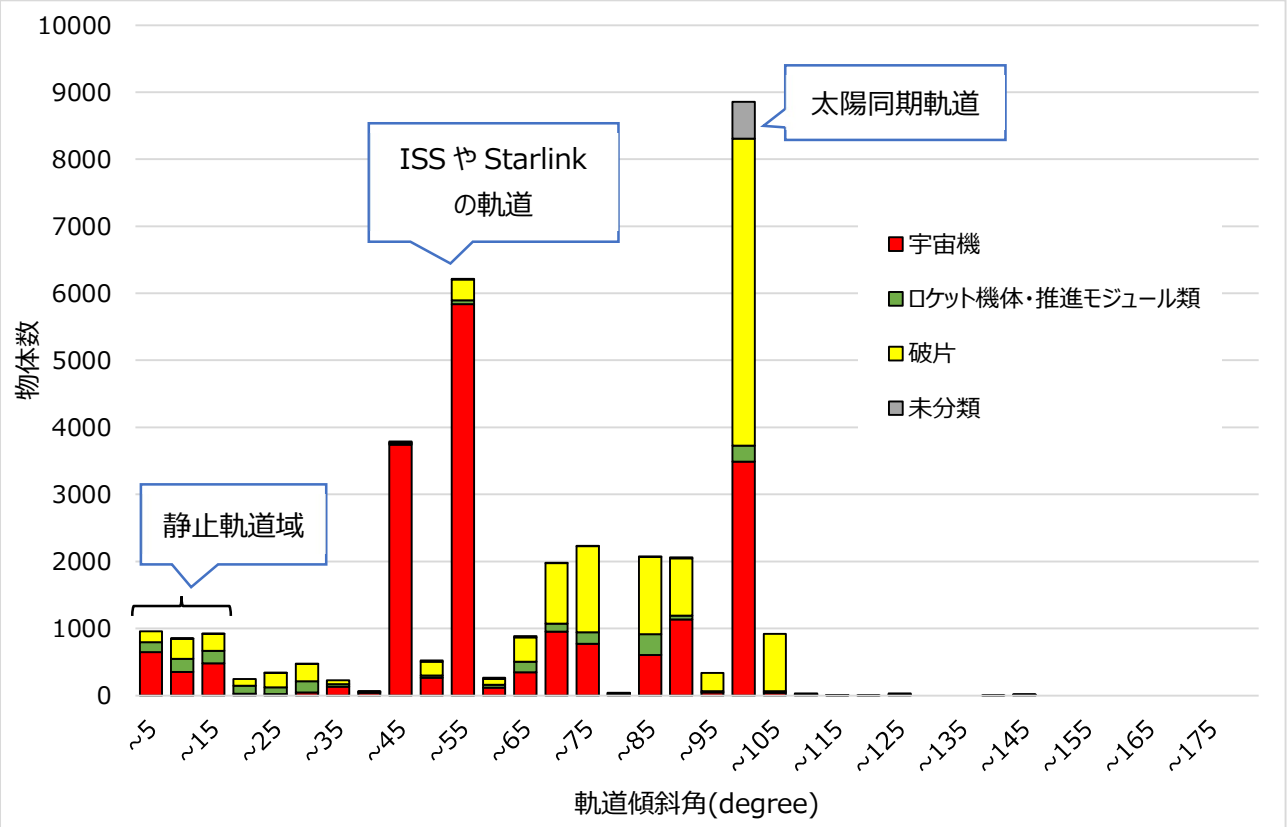

図 2.2.1- 2 軌道傾斜角別の軌道上物体数

(出典：CSpOC@2026.09.01)

[1] 平均高度、軌道傾斜角以外にも軌道を決定するパラメータとして、離心率(近地点高度、遠地点高度)や昇交点赤経などがあるが、密集度を特徴づけるパラメータの代表として本レポートでは平均高度と軌道傾斜角に対するデータを掲載している。

図 2.2.1-3 に国別の軌道上物体数を示す。また、表 2.2.1-1 は、各国の軌道上物体数および累計再突入物体数を示し、両者の合計物体数が多い上位 10 か国を対象としている。2026 年 9 月 1 日現在、軌道上物体数は米国が最も多く約 56%、次いで CIS (Commonwealth of Independent States: 独立国家共同体(現 ロシア連邦))が約 20%、中国が約 18%と多くの割合を占めている。なお、日本も軌道上物体数は第 6 位（再突入物体数も含めると第 5 位）に位置し、軌道上環境に対して一定の影響を及ぼしていることが分かる。

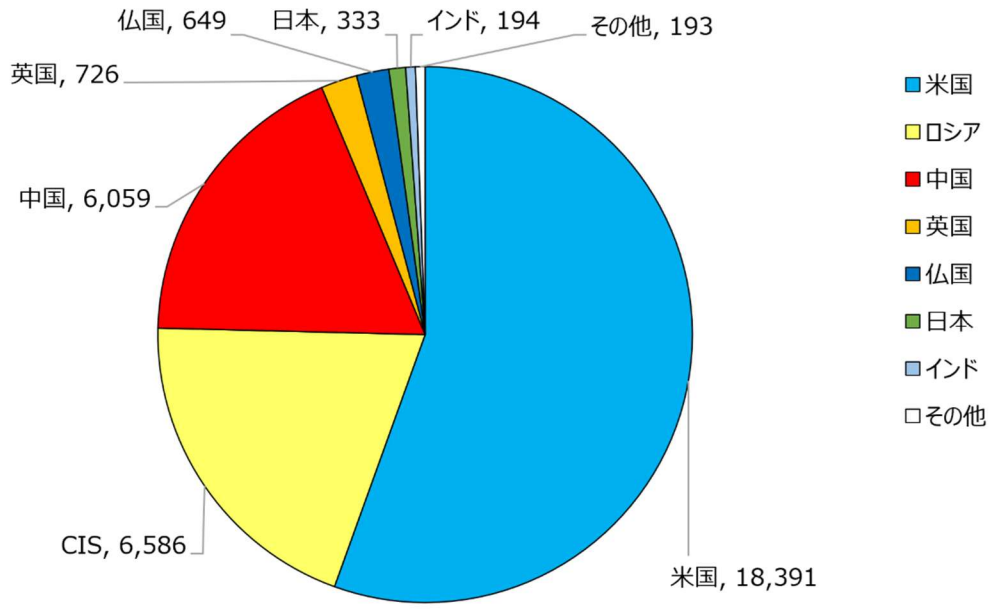

図 2.2.1- 3 軌道上物体数の国別割合

(出典：CSpOC@2026.09.01)

表 2.2.1- 1 各国の軌道上/再突入物体数(物体数上位 10 か国)

(出典：CSpOC@2026.09.01)

	軌道上物体					累計再突入物体					
国名／機関名	宇宙機	ロケット	破片類	未判別	小計	宇宙機	ロケット	破片類	未判別	小計	合計
米国	13704	778	3899	10	18391	4011	871	5776	25	10683	29074
CIS	1614	1051	3903	18	6586	2180	2956	13489	24	18649	25235
中国	1299	280	4169	311	6059	243	395	2357	198	3193	9252
フランス	132	165	352	0	649	28	92	713	0	833	1482
日本	236	53	36	8	333	127	87	363	12	589	922
インド	114	41	36	3	194	39	39	492	0	570	764
英国	725	1	0	0	726	31	0	4	0	35	761
ESA	115	8	11	1	135	17	4	30	0	51	186
ドイツ	102	0	1	0	103	50	0	1	0	51	154
イタリア	92	1	0	0	93	46	1	2	0	49	142

2.2.2 地球低軌道保護域

図 2.2.2-1 に地球低軌道保護域に干渉する物体数（近地点が高度 2,000 km 以下の物体数）の種類別割合を示す。2026 年 9 月 1 日時点では宇宙機が 17,169 個で最も多く、次いで破片が 11,541 個であり、ほとんどが宇宙機と破片で占められている。過去には破片数が最も多かったものの、近年はコンステレーションの展開や小型衛星の増加により、宇宙機数が破片数を上回るようになっている。

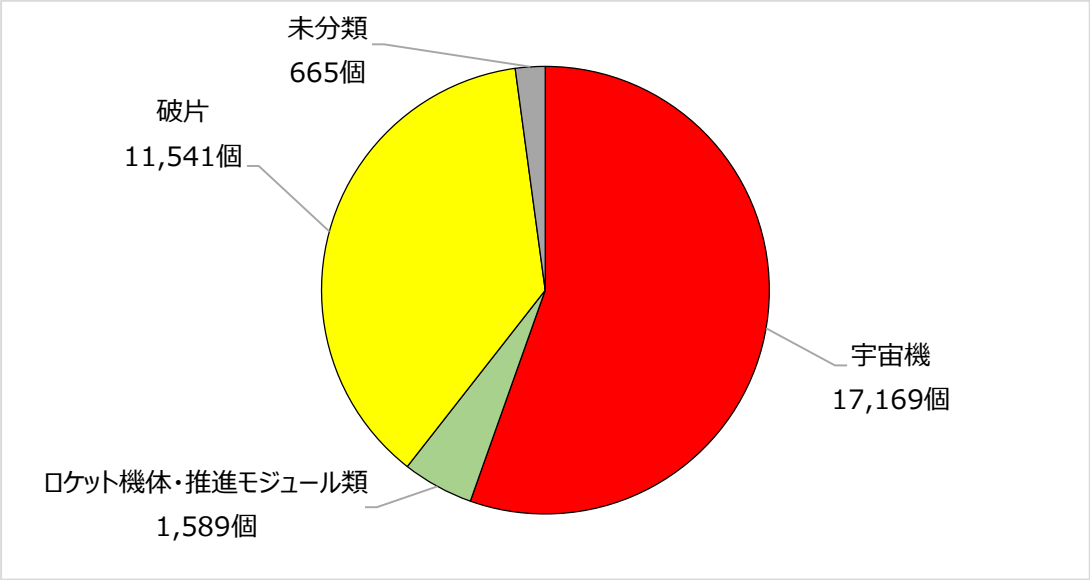

図 2.2.2- 1 地球低軌道保護域に干渉する物体の種類別物体数の割合

(出典：CSpOC@2026.09.01)

図 2.2.2-2 に地球低軌道保護域(高度 2,000 km 以下)の平均軌道高度別の物体数を示す。高度 300～400 km は大気の影響で再突入が促進されることもあって数量としては少ないが国際宇宙ステーション（高度：約 400 km）等の有人ミッションに使用される軌道であるので安全確保が最重要になる軌道域である。

高度 400～600 km 付近には、大規模衛星コンステレーションや太陽同期軌道の地球観測衛星が多く存在する。特に 2019 年以降、Starlink 等の衛星コンステレーションの大量打ち上げにより、この高度帯における宇宙機数は大幅に増加している。その結果、従来は高度 800～1,000 km 付近にあった軌道上物体数のピークが、現在では高度 400～600 km 付近へ移っている。

高度 800 km 以上は、過去の破砕事象で発生した多くの破片が存在している。次のピークは高度 1,500 km でロシアの通信衛星を主体とするものである。

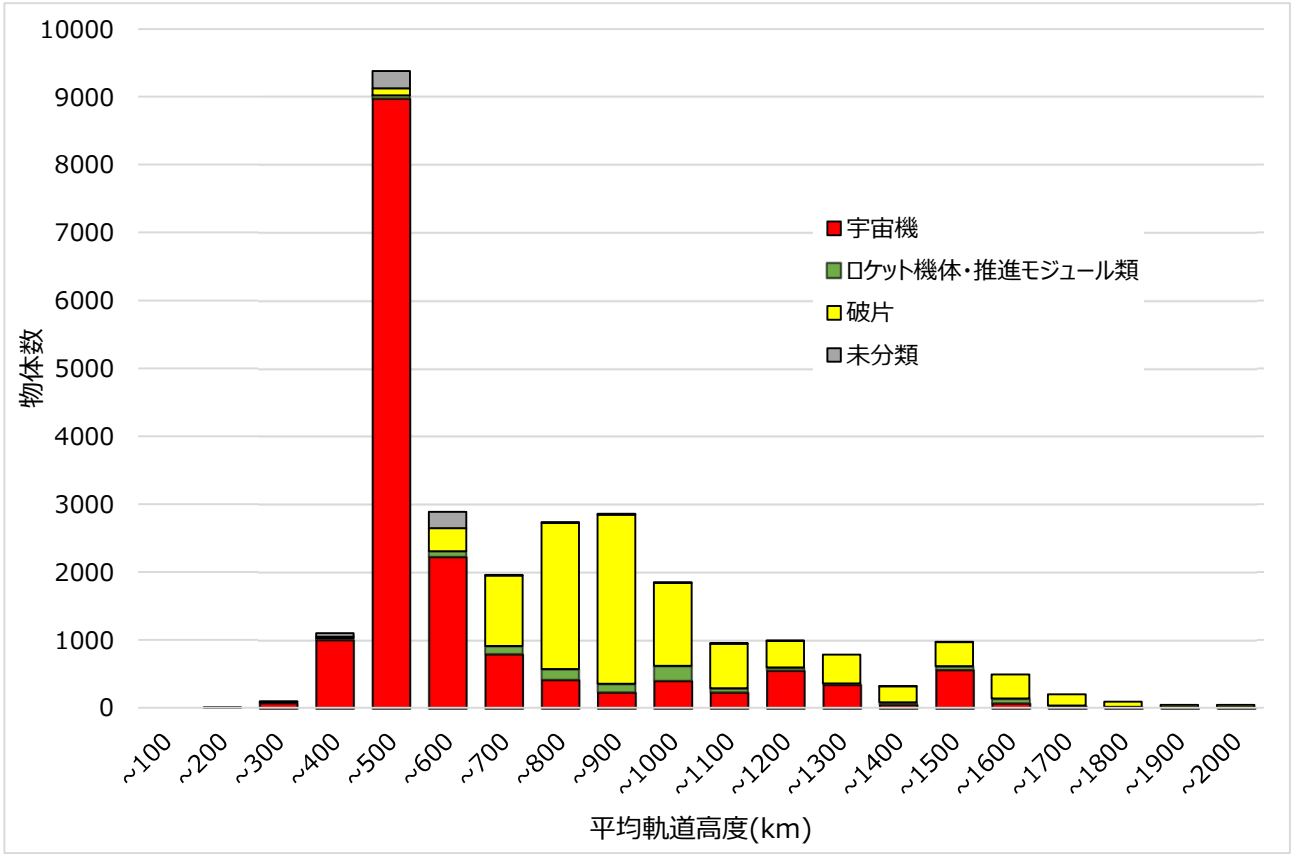

図 2.2.2- 2 平均軌道高度別の軌道上物体数(地球低軌道保護域)

(出典：CSpOC@2026.09.01)

2.2.3 地球 12 時間周期軌道域

GPS 衛星に代表される高度 20,000 km 付近の 12 時間周期軌道は、貴重な用途を持つ軌道域である。このため、JAXA 標準「JMR 003-スペースデブリ発生防止標準」では保護軌道域に分類されている。一方、図 2.2.1-1 に示すように、この軌道域で運用する軌道上物体数は比較的少ないため、国際的には明確な保護軌道域とは認識されていない。

図 2.2.3-1 に 12 時間周期軌道域の宇宙機の分布を示す。特に、19,000～19,200 km および 20,000～20,200 km の高度帯には多くの宇宙機が配置されていることが特徴的である。前者には GLONASS（ロシアの全地球航法衛星システム）、後者には GPS（米国の全地球測位システム）の衛星が多く存在している。

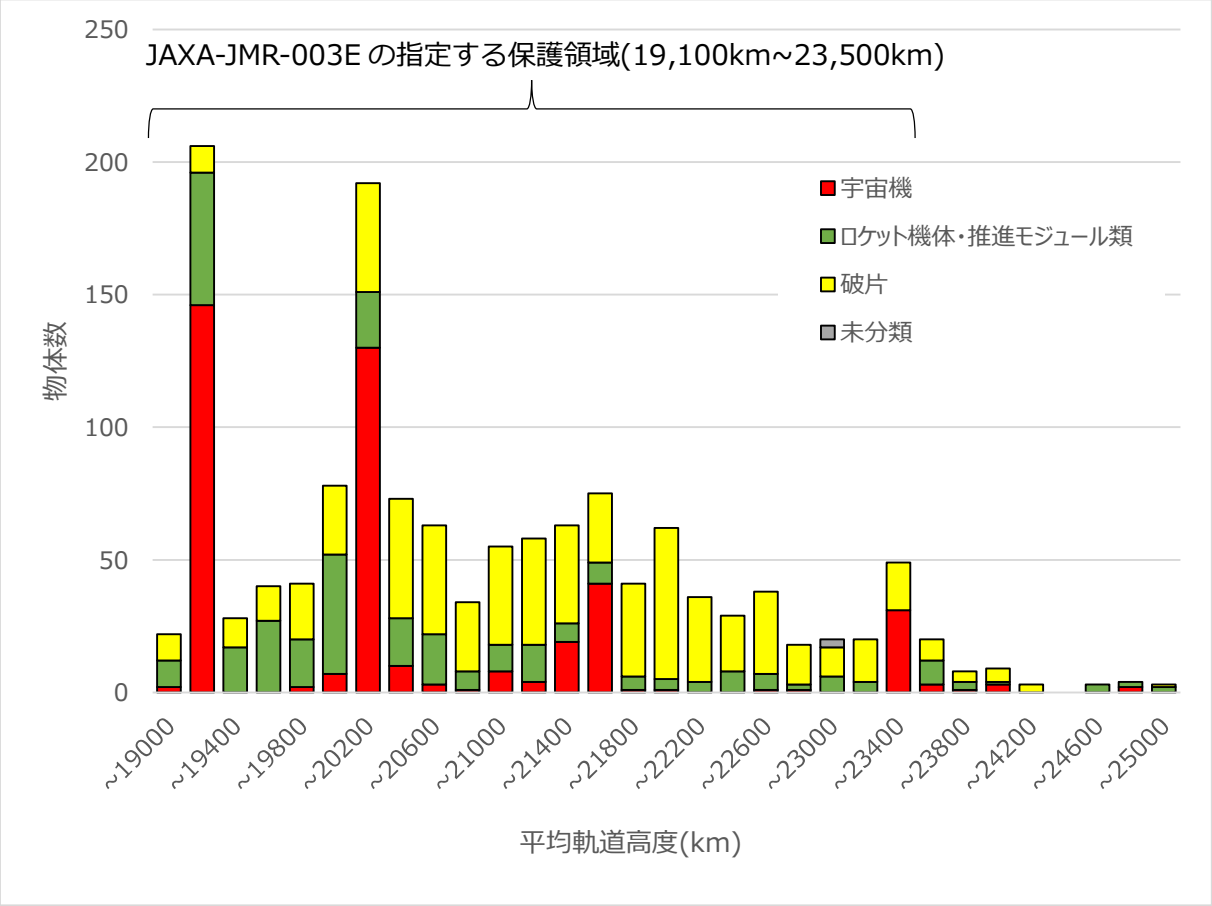

図 2.2.3- 1 平均軌道高度別の軌道上物体数（18,800km~25,000km)

(出典：CSpOC@2026.09.01)

2.2.4 静止軌道保護域

図 2.2.4-1 に静止軌道保護域に干渉する種類別物体数（遠地点高度＞35,586 km，近地点高度＜35,986 km の範囲に存在する物体)を示す。

また、図 2.2.4-2 に静止軌道保護域の宇宙機のうち運用中の宇宙機の割合を示す。運用終了後のリオ―ビット(静止軌道保護域外の墓場軌道への移動)は、近年は 90 %の静止衛星で実施されているが、過去には多くの衛星が運用終了後もリオ―ビットしなかったため、現在も多数の廃棄衛星が滞留している。

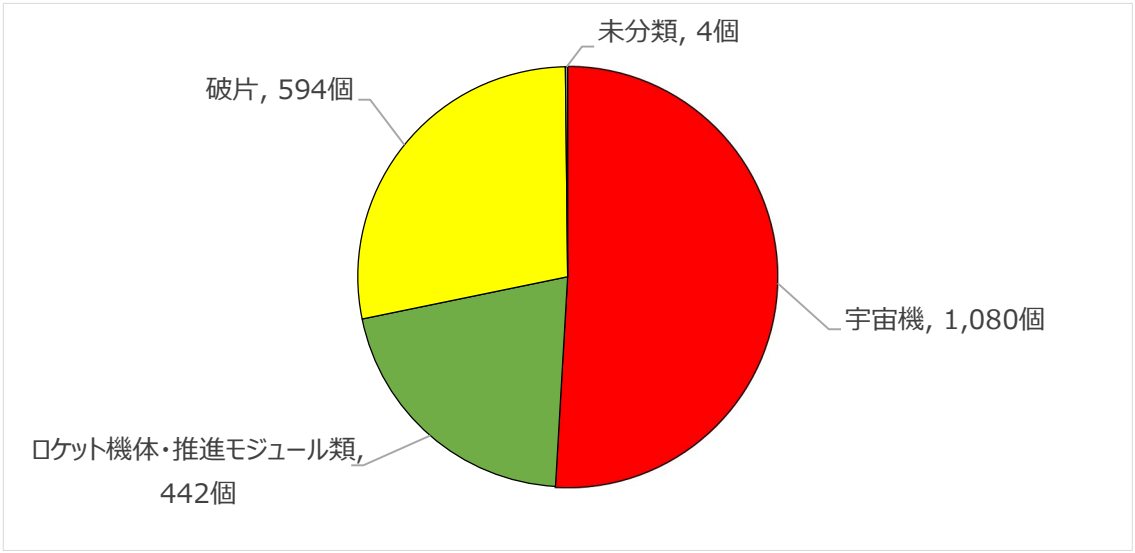

図 2.2.4- 1 静止軌道保護域に干渉する物体の種類別物体数の割合

[注：遠地点高度＞35,586 km，近地点高度＜35,986 km の範囲に存在する物体]

(出典：CSpOC@2026.09.01)

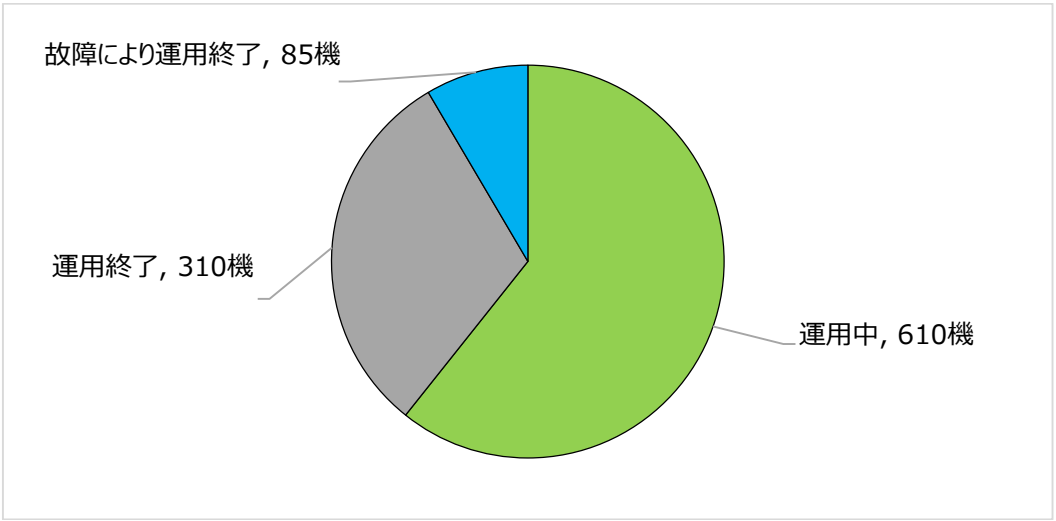

図 2.2.4- 2 静止軌道保護域の物体のうち運用中の宇宙機の割合

(出典：Seradata@2026.09.01)

2.3 破片発生の原因

軌道上環境の悪化の最大原因は、破砕事故である。破砕で発生した破片は、カタログ物体の約 36%を占めている。破砕現象は、主に以下の原因で発生する。

(1) 残留推進剤の爆発
(2) 意図的破壊実験
(3) 破砕要素を有する品目（バッテリ、リアクションホイール等）の不具合
(4) スペースデブリやメテオロイドの衝突

破砕事象の発生件数を原因別に整理した結果を図 2.3-1 に、発生した破片数を原因別に整理した結果を図 2.3-2 に示す。破砕件数では、ロケット系の残留推進剤に起因する破砕が 118 件と最も多く、次いで意図的破壊が 61 件、バッテリに起因する破砕が 13 件となっている。また、原因不明の事象も 88 件存在する。一方で、発生した破片数に着目すると、意図的破壊および偶発的衝突では 1 イベント当たりの破片発生数が多いことが分かる。なお、偶発的衝突とは、宇宙機とスペースデブリとの衝突や宇宙機同士の衝突を指す。特に、米国の民間通信衛星イリジウム 33 号とロシアの通信衛星 Cosmos 2251 号との衝突に伴う破砕は、多数の破片を発生させた代表的な事例であり、破片発生数が増加した主要な要因の 1 つである。

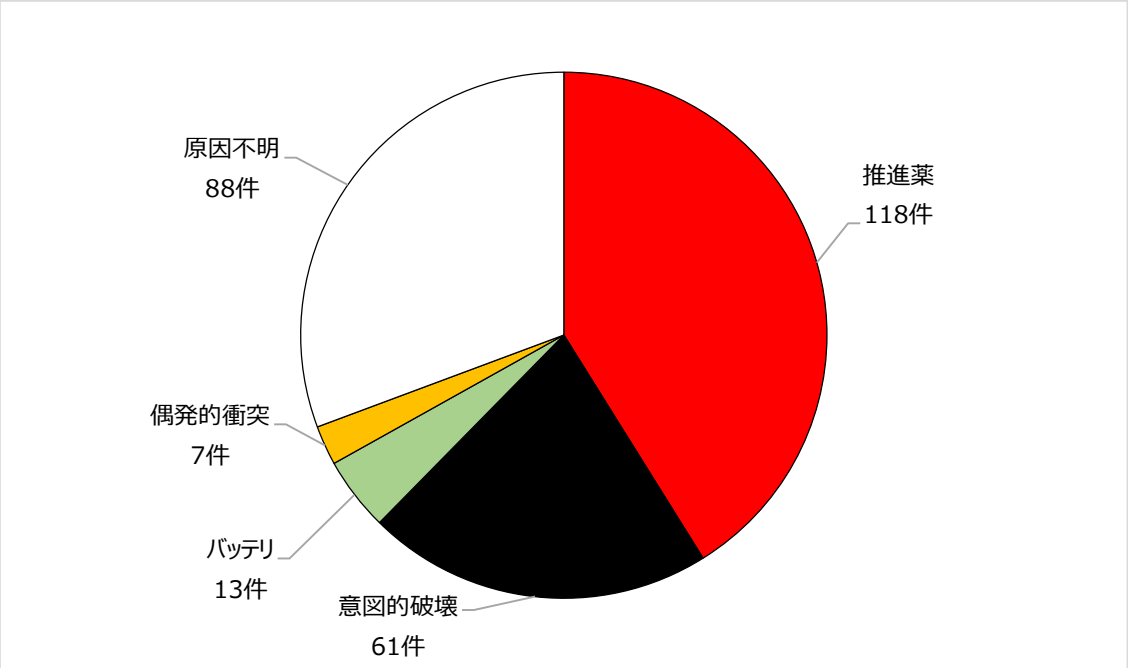

図 2.3- 1 発生原因別破砕件数の割合

(出典：NASA Orbital Debris Quarterly News,
NASA History of On-orbit Satellite Fragmentation 16th Edition)

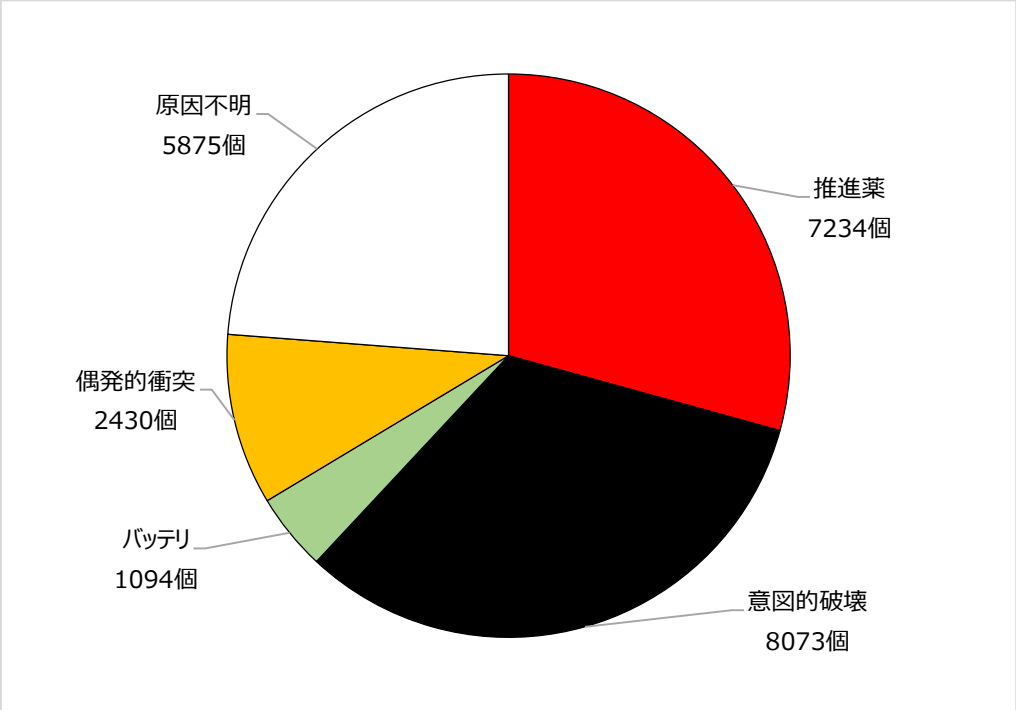

図 2.3- 2 発生原因別破片発生数の割合

(出典：NASA Orbital Debris Quarterly News,
NASA History of On-orbit Satellite Fragmentation 16th Edition)

宇宙機とロケット機体に分類して破砕原因を整理した結果を図 2.3-3 に示す。ロケット機体では、残留推進薬に起因する破砕が多く確認される一方、宇宙機では意図的破壊による破砕の割合が高い。

意図的破壊は、自爆による破片を相手方に衝突させる方法と、ミサイルによる衛星破壊（ASAT: Anti-Satellite Weapon 実験等）の大きく 2 種類に分類される。前者は自爆した宇宙機と被害を受けた宇宙機の双方が破砕するので破片の発生数は 2 倍になる。後者についても 1 回の事象で膨大な数の破片を生成するため、軌道上環境への影響が大きい。

表 2.3-1 に、軌道上破砕事象のうち発生破片数が多い上位 10 事象を示す。最も多くの破片を発生させた事象は、2007 年に中国が高度約 860 km の軌道上で実施した気象衛星 Fengyun-1C に対する ASAT 実験である。ミサイルによる衛星破壊によって大量の破片が生成され、その一部は現在も軌道上に残存している。次いで多くの破片を発生させた事象は、2021 年にロシアが高度約 480 km の軌道で実施した COSMOS 1408 に対する ASAT 実験である。3 番目に多くの破片を発生させた事象として、2009 年に発生した Iridium 33 衛星と Cosmos 2251 衛星の衝突が挙げられる。運用中の Iridium 33 衛星と運用終了後の Cosmos 2251 衛星が高度約 790 km で衝突し、大量の破片を発生させた。

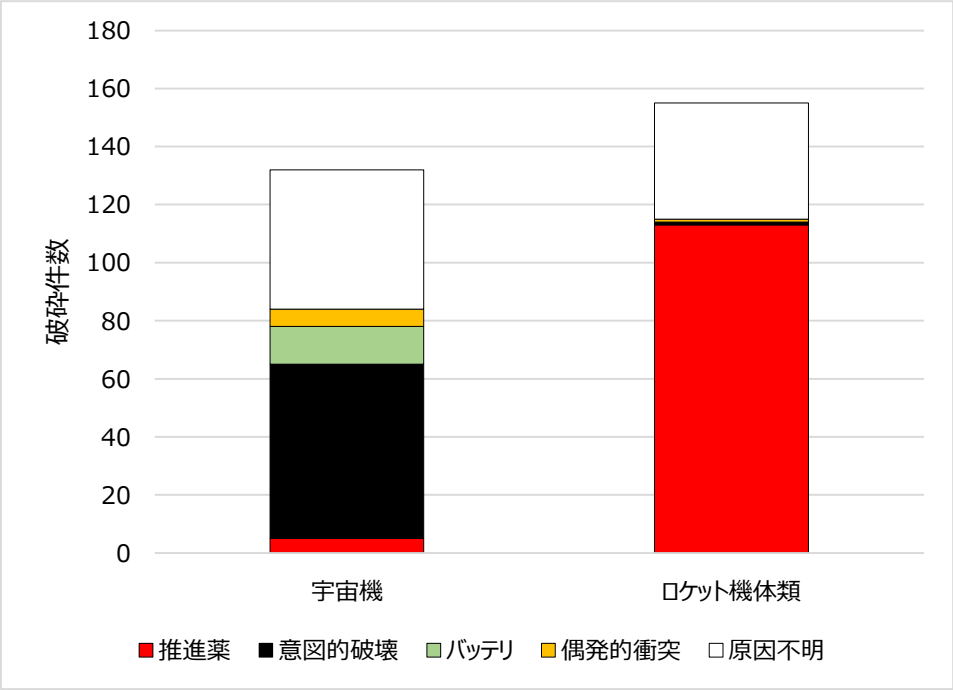

図 2.3- 3 システム別破砕件数の割合

(出典：NASA Orbital Debris Quarterly News,
NASA History of On-orbit Satellite Fragmentation 16th Edition)

表 2.3- 1 破片発生数の多い破砕事象トップ 10

(出典：CSpOC@2026.09.01)

順位	破砕物体	破砕年	破片数		推定破砕要因
			発生	残存	
1	FENGYUN 1C	2007	3532	2316	ASAT 実験
2	COSMOS 1408	2021	1807	4	ASAT 実験
3	COSMOS 2251	2009	1715	616	IRIDIUM 33 との衝突事故
4	CZ-6A	2022	801	619	爆発事故
5	STEP Ⅱ 上段	1996	754	56	爆発事故
6	CZ-6A	2024	706	578	不明
7	IRIDIUM 33	2009	657	118	COSMOS 2251 との衝突事故
8	COSMOS 2421	2008	509	0	不明
9	SPOT1 上段	1986	498	22	爆発事故
10	COSMOS 1275	1981	479	402	爆発事故

図 2.3-4 に打上げから破砕までに経過した期間を示す。1 年以内に破砕した件数が最も多く 124 件である。さらに、打上げから 1 日目に破砕した件数は 51 件であり、大半を占めている。年数が経過するにつれて減少傾向にあるが、10 年以上経過してから残留推進薬により爆発することもあることが分かる。

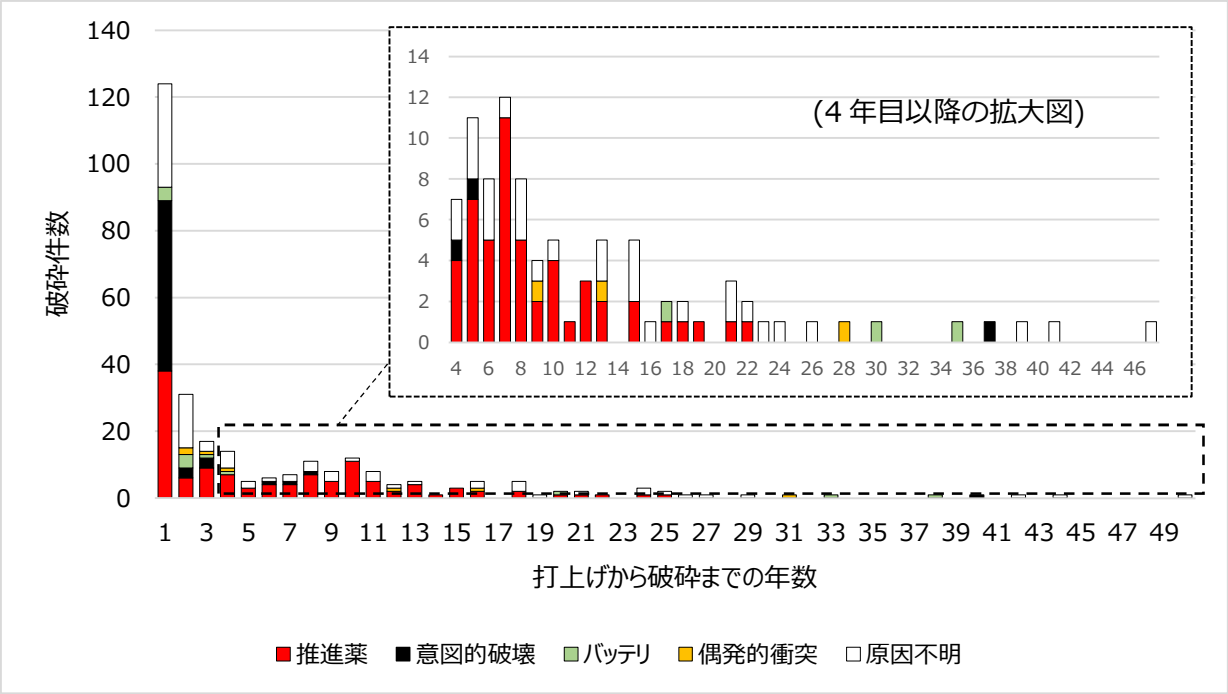

図 2.3- 4 打上げから破砕までに経過した期間

(出典：NASA Orbital Debris Quarterly News,
NASA History of On-orbit Satellite Fragmentation 16th Edition)

表 2.3-2 に、2025 年 1 月 1 日から 2026 年 9 月 1 日までの期間において、10 個以上の破片が新たに CSpOC にカタログ化された事象を示す。5 件の事象が確認されたが、これらは新たな破片の発生によるものではなく、これまで識別・登録されていなかった既存の破片が追加登録されたものと推測される。一方で、既存の破片が他の物体と衝突し、さらに細分化された結果、新たな破片として検出・登録された可能性も考えられる。また、DMSP 5D-2 F14 については、2024 年の破砕事象で生じたデブリが遅れてカタログ化された可能性がある。

表 2.3- 2 2025 年 1 月 1 日以降、10 個以上の破片が新たにカタログ化された事象
(出典：CSpOC@2026.09.01)

順位	破片発生源 （宇宙機、ロケット軌道投入段）	新規登録破片数 （2025 年 1 月 1 日～ 2026 年 9 月 1 日時点）	破片発生登録時期
1	COSMOS 970	51	2025/7/30
2	CZ-6A	50	2025/3/31, 2025/5/13, 2025/6/27, 2026/7/10, 2026/7/30
3	OPS 4682	49	2026/7/10
4	INTELSAT 33E	18	2025/6/18
5	DMSP 5D-2 F14	15	2025/2/11, 2025/3/6

2.4 月、火星関連の状況

近年は月や火星を対象とした探査活動が活発化しており、これらの天体の周辺にも人工的に投入された物体が増加している。

月の周辺には、現在も運用中の月周回探査機が存在するほか、過去の探査計画で投入された運用終了後の宇宙機も残されている。また、月面には軟着陸に成功した着陸船だけでなく、着陸に失敗して衝突した探査機なども存在している。図 2.4-1 に月関連の軌道上物体の打上げ機数の遷移を示す。月探査は 1950 年代末から 1970 年代前半にかけて、米国と旧ソ連による宇宙開発競争を背景として活発に行われ、多数の探査機が打ち上げられた。その後は長期間にわたり探査活動が低調となったが、2000 年代以降は各国による月探査計画やアルテミス計画の進展に伴い、周回機や着陸機の数が再び増加傾向にある。

火星では、これまでに周回機、着陸機、探査車など多くの探査機が投入されてきた。現在も複数の周回機や探査車が運用されており、火星環境に関する観測が継続されている。図 2.4-2 に火星関連ミッションの探査機等の打上げ機数の遷移を示す。1970 年代には複数の探査計画によって人工物体数が増加したが、その後は探査活動が低調な時期もみられた。1990 年代以降は火星探査への関心が再び高まり、周回機や着陸機の数は増加傾向にある。

現在のところ、月や火星の周辺に存在する人工物の数は、地球周回軌道と比較すると非常に少なく、物体同士が衝突する確率は高くない。しかし、今後は探査活動の拡大に伴い、運用終了後の探査機や衝突・破砕によって発生するスペースデブリの管理が重要な課題になると考えられる。特に月周辺では、多くの国や民間企業が探査計画を進めており、軌道利用の拡大に伴って適切な管理の重要性が高まると考えられる。

なお、図 2.4-1 および図 2.4-2 では、月・火星への衝突や着陸、各軌道への投入などの運用形態ごとに集計しているが、集計年はこれらの事象が発生した年ではなく、各宇宙機の打上げ年を基準としている点に留意されたい。

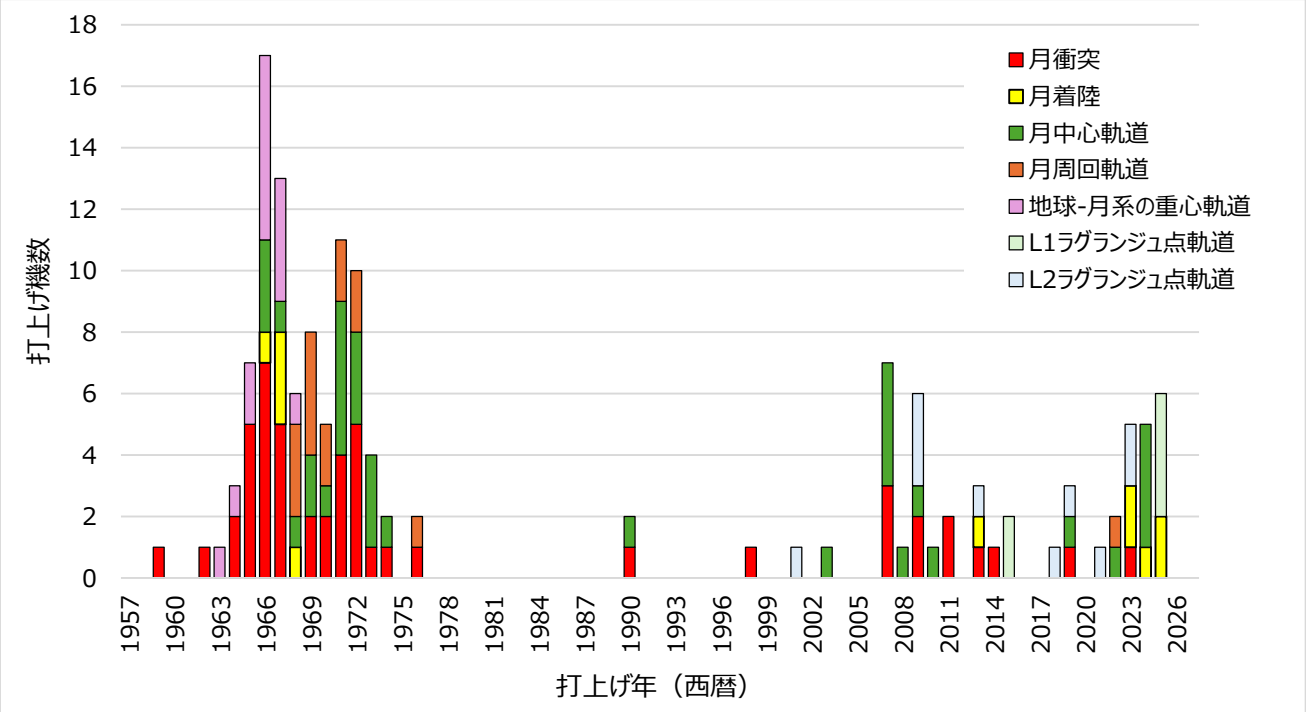

図 2.4- 1 月関連の軌道上物体の打上げ機数の遷移

(出典：CSpOC@2026.09.01)

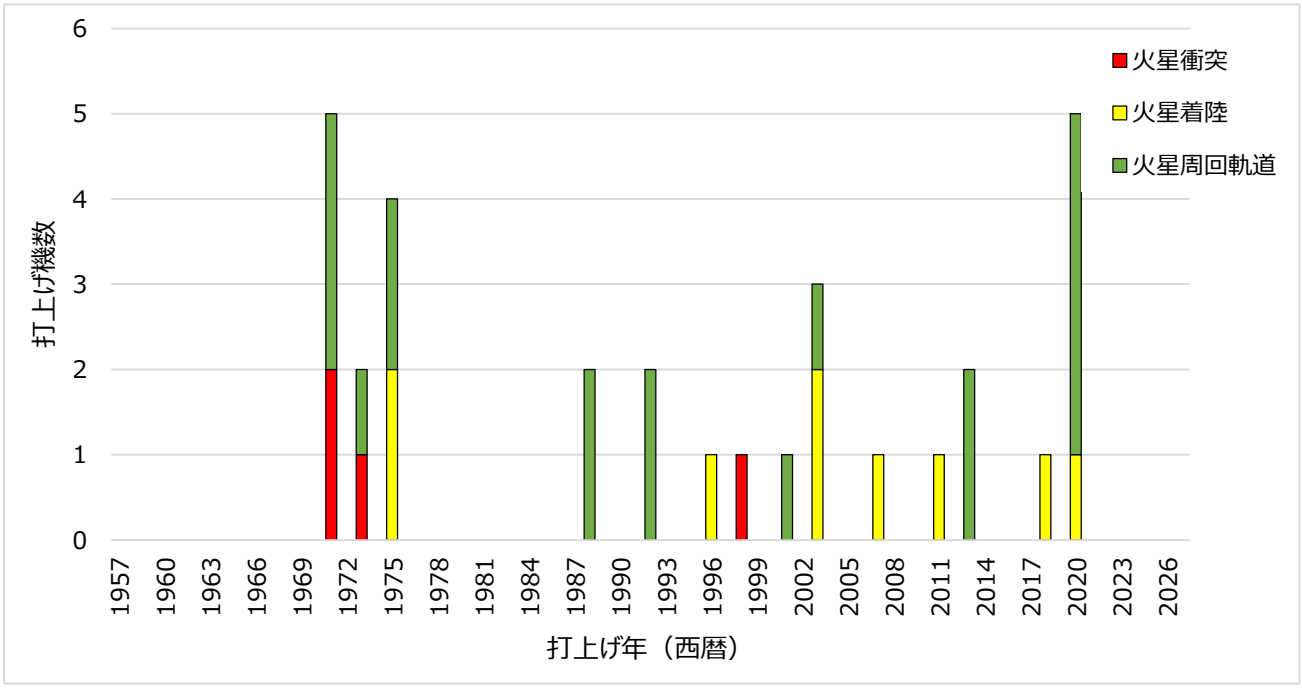

図 2.4- 2 火星関連の軌道上物体の打上げ機数の遷移

(出典：CSpOC@2026.09.01)

3 軌道利用の安全に係るトピックス

3.1 HTV-X3 号機搭載微小デブリセンサ（SDM）の開発[2, 3]

3.1.1 近年高まる「微小デブリ」衝突リスク

地球周回軌道には、地上から追跡可能な 10cm 級以上の大型デブリで数万個、1mm 級の微小デブリも踏まえると 1 億個以上存在すると推定されている。これらは低軌道においては約 10km/秒という超高速で飛翔しており、たとえ微小デブリであっても宇宙機に衝突し、燃料タンクや電源系統への損傷を引き起こした場合には、衛星ミッションを終了させる要因となり得る。特に数多くのミッションが実施されている高度 600～1000km の軌道では、微小デブリの直接観測データが極めて不足しており、各国のデブリ環境モデルでも乖離が生じるなど不確実性が残っている。

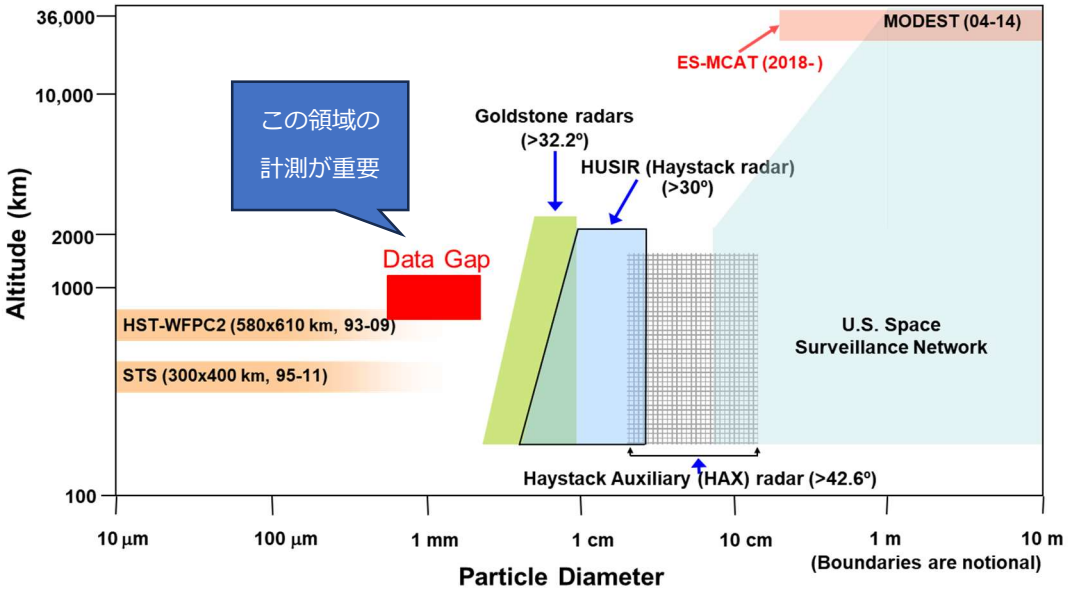

図 3.1.1- 1 微小デブリに関するデータカバー率[4]

---

[2] 奥村，中西，原田，神谷，松本，河本：HTV-X3 号機搭載微小デブリセンサ（SDM）の開発，第 19 回宇宙環境シンポジウム，2025.

[3] J.-C. Liou, S. Kawamoto, R. Corsaro, M. Ortiz, R. Cobbs, H. Cowardin, J. Headstream, D. Nakanishi, H. Matsumoto, P. Anz-Meador, and the MACS Team : The Multi-layer Acoustic & Conductive-grid Sensor (MACS) Technology Demonstration on HTV-X3, The 9th European Conference on Space Debris, 2025.

[4] J.-C. Liou : Orbital Debris Mitigation in Support of Space Situational Awareness and Space Traffic Management, International Symposium on Ensuring Stable Use of Outer Space, 2019

3.1.2 微小デブリ計測装置（Spece Debris Monitor）とは

微小デブリの直接観測データが不足しているという課題を解決するため、JAXA 研究開発部門では、軌道上で微小デブリの観測を行うセンサ：微小デブリ計測装置（Spece Debris Monitor、以下 SDM）を開発している。SDM は、ポリイミドフィルム上に 50μm 幅の導電線を高密度に配置したセンサで、このセンサとデブリの衝突によって切断された導電線の本数と位置から、粒子サイズと衝突位置を計測する。観測対象は約 100μm から数 mm サイズの微小デブリで、事前校正をほとんど必要としないシンプルな構造と高い信頼性が特長である。

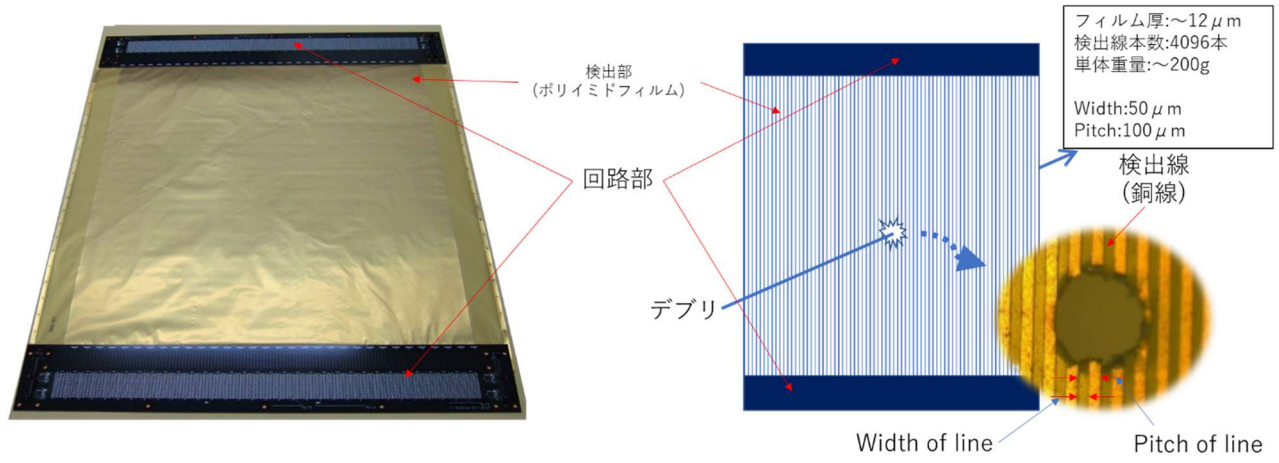

図 3.1.2- 1 SDM の概要

3.1.3 HTV-5 での飛行実証

SDM は 2015 年に打ち上げられた HTV-5（こうのとり 5 号機）に宇宙環境観測装置「KASPER」のセンサの 1 つとして搭載され、軌道上実証を実施した。約 3 か月間の運用において導電線の切断を 1 件検出し（1 本の断線は 100μm 以下のサイズのデブリが衝突したことを意味する）、微小デブリ観測技術としての有効性を実証した。

3.1.4 HTV-X3 搭載「軌道上微小デブリ観測装置(MACS)」への展開

現在、SDM は NASA の Orbital Debris Program Office が開発する軌道上微小デブリ観測装置 MACS（Multi-layer Acoustic & Conductive-grid Sensor）の計測センサの一部として採用されている。MACS は、最外層に SDM を配置し、その背後に音響センサ付きの薄膜とバックストップパネルを組み合わせた 4 層構造を採用している。このシステムにより、衝突したデブリの粒子サイズだけでなく、衝突時刻、位置、速度、飛来方向、運動エネルギー、さらには材料密度まで推定することが可能になる。

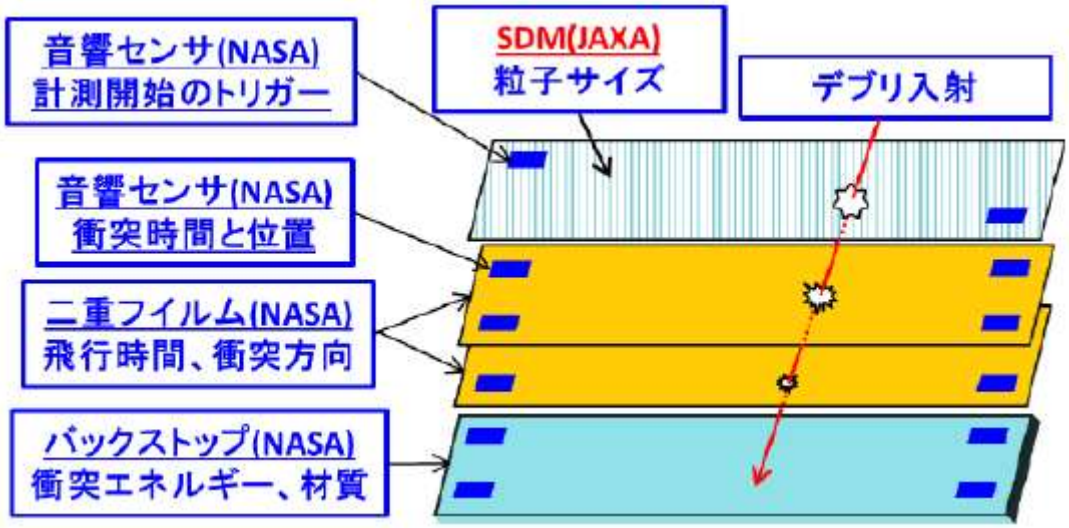

図 3.1.4- 1 NASA デブリセンサ（MACS）構成及び計測対象

MACS は微小デブリ計測技術のデモンストレーションミッションとして HTV-X3 の船外暴露部に搭載され、ISS 離脱後の技術実証フェーズで観測を行う計画である。NASA ホワイトサンズ試験施設では 168 回に及ぶ超高速衝突試験が実施され、MACS の性能が検証されてきた。今回の実証は、将来、高度 600～1000km 帯で長期間観測を行う本格的な微小デブリ観測ミッションへの重要なステップとなる。

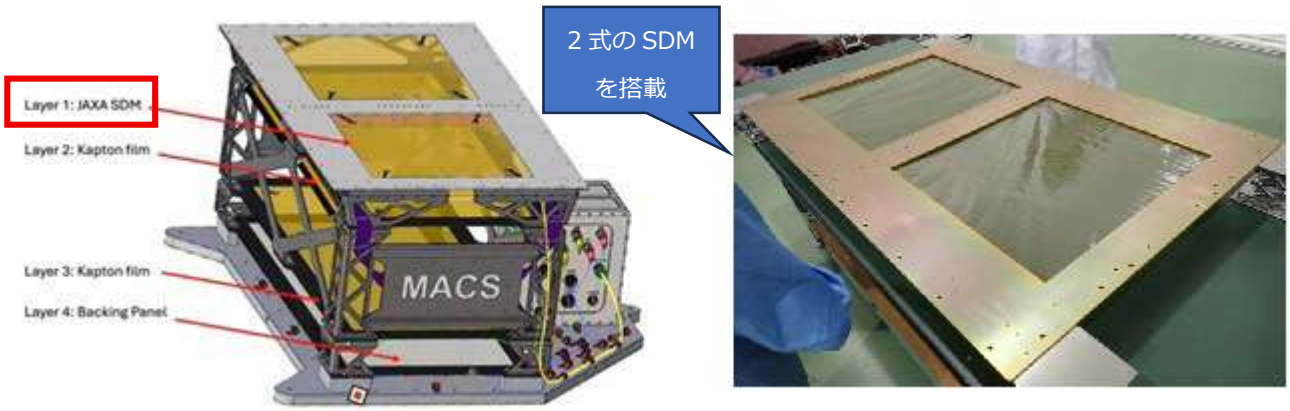

図 3.1.4- 2 MACS（左）及び SDM（右）の外観

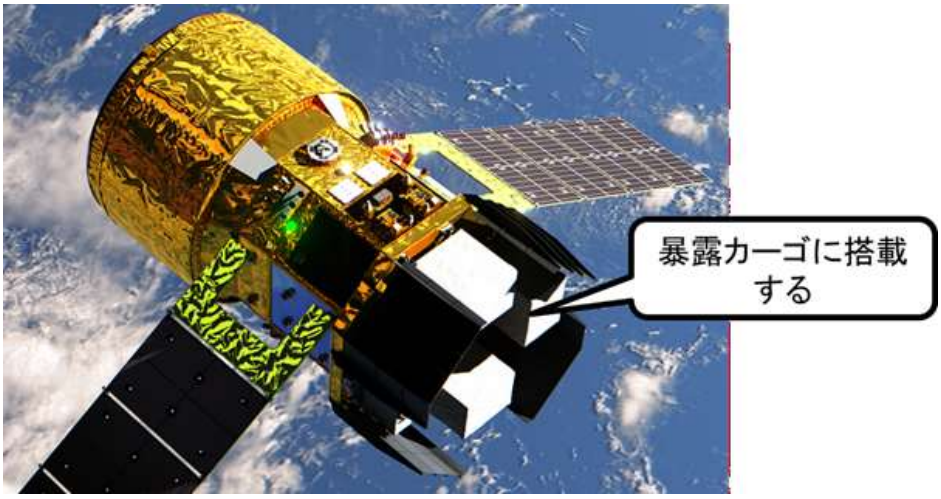

図 3.1.4- 3 MACS/SDM の HTV-X3 号機への搭載イメージ

3.1.5 SDM が切り拓く未来

SDM が取得するデータは、NASA のデブリ環境モデル ORDEM（Orbital Debris Engineering Model）の高精度化に活用されるほか、将来の微小デブリ発生防止のために必要となる大型デブリ除去の効果検証や将来宇宙機の防護設計にも貢献する。SDM は、持続可能な宇宙利用を支える「宇宙環境計測インフラ」として、国際的に重要な役割を担うことが期待されている。

3.2 オーストラリアの海岸で球状再突入物体を発見[5,6]

2026 年 7 月、オーストラリア・クイーンズランド州北部の Forrest Beach 周辺において、図 3.2-1 に示す球状の物体が相次いで発見された。発見当初は正体不明であったため、警察や消防当局が出動し、一時的に立入制限区域が設けられた。物体には危険な化学物質が残留している可能性も懸念され、回収作業は防護装備を着用した専門チームによって実施された。

その後、オーストラリア宇宙庁（Australian Space Agency）は、回収された物体について調査を行い、「最近軌道から大気圏へ再突入した外国のロケットに由来するスペースデブリである可能性が高い」と発表した。また、これらの物体は宇宙機やロケットで使用される圧力容器（Pressure Vessel）と特徴が一致すると説明している。

図 3.2- 1 発見された球状物体の写真
（出典：ABC NEWS[5]）

圧力容器は、ロケット内部で推進剤の加圧やガスの貯蔵に使用される重要な機器であり、高い圧力に耐えるためチタン合金などの融点が高く比熱の大きな材料で製造されることが多い。そのため、ロケットの多くの部品が再突入時の高熱によって燃え尽きる一方で、圧力容器は比較的原形を保ったまま地表や海面へ到達することがある。専門家によれば、このような球状の圧力容器は宇宙業界では「Space Ball（スペースボール）」と呼ばれることもある。

今回発見された物体については、由来となったロケットおよびその打上げ国は現時点では正式に特定されていない。オーストラリア宇宙庁は国際機関や関係国と連携しながら調査を継続しており、追加のスペースデブリが発見される可能性もあるとして注意を呼び掛けている。発見した場合は近づいたり触れたりせず、当局へ通報するよう求めている。

今回の事例は、宇宙活動の拡大に伴い、運用終了後のロケットや人工衛星の一部が地上へ到達するリスクが存在することを改めて示した事例として注目されている。確率は依然として低いものの、運用終了後の宇宙機については、適切な制御による再突入などを実施するとともに、スペースデブリなどの制御できない物体については、解析ツールを用いた軌道予測を行うことが重要である。このように、宇宙活動の拡大に伴い、再突入物体の管理の重要性が高まっている。

---

[5] ABC NEWS [https://www.abc.net.au/news/2026-07-06/qld-space-agency-identifies-source-of-mysterious-fuel-vessels/106883746]

[6] BBC NEWS [https://www.bbc.com/news/articles/c1jyydr7jnjo]

4 国内外のスペースデブリ対策に関する動向

4.1 国際的な動向

スペースデブリ問題は国境を越えて宇宙環境全体に影響を及ぼすため、一国のみの取り組みでは十分な効果を得ることが難しく、国際的な協力が不可欠である。代表的な国際的枠組みとして、UN COPUOS (United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space)、IADC (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee)、ISO (Organization for International Standards)などがあり、これらの機関はスペースデブリ低減のためのガイドラインや国際標準の策定・維持を行っている。

4.1.1 UN COPUOS

毎年、各国および各機関でスペースデブリに関する情報交換を実施している。2007 年に Space Debris Mitigation Guideline が制定され、法的拘束力はないものの、参加国に向けて基本的なスペースデブリ低減対策が記載されている。(6 項(8)参照。)

近年の動向として、2026 年 6 月 10 日から 18 日に開催された第 69 会期 COPUOS 本委員会や 2026 年 2 月 2 日から 13 日に開催された第 63 会期科学技術小委員会にて、宇宙活動の長期的持続可能性（LTS：Long Term Sustainability）に関する様々な意見交換が行われ、日本と国連宇宙部がスペースデブリに関するサイドイベントを共催した。(6 項(17)参照。)

4.1.2 IADC

スペースデブリ問題に関する活動の国際的な調整を行う機関であり、加盟宇宙機関間の情報交換、研究協力機会の促進、共同活動の進捗確認、スペースデブリ低減策の識別などを目的としている。2026 年 9 月現在、JAXA 含む 13 の加盟宇宙機関で構成されている。

運営グループおよび 4 つのワーキンググループ(measurements (WG1), environment and database (WG2), protection (WG3), mitigation (WG4))で構成されている。

2002 年に初版が発行された「IADC スペースデブリ低減ガイドライン」の第 4 版が 2025 年 1 月に制定、公開されている。また、大規模衛星コンステレーションを考慮した記述の拡充、最新の運用実態を踏まえた用語・要求事項の整理が行われている。(6 項(9)参照。)

4.1.3 ISO

各国専門家有志の合意に基づく国際標準を発行している独立した非政府機関である。

スペースデブリ低減分野においては、「ISO 24113:2023 Space systems — Space debris mitigation requirements」を中核として、関連規格群が整備されている。(6 項(10)参照。) これらは、購入により閲覧することができる。近年は、大規模衛星コンステレーションの急速な拡大を受けて、衛星の運用方法や運用終了後の処分方法等に関する標準化活動も進められている。

4.2 米国

米国政府は NASA が主導となり作成した ODMSP (Orbital Debris Mitigation Standard Practices) に従ってスペースデブリ低減を実施している。ODMSP は 2001 年に初版が制定され、2019 年に改定されている。破砕確率や衝突確率などの定量的制限の追加、各保護軌道域における廃棄手法の詳細化、大規模衛星コンステレーションや軌道上サービスに関する規範の追加など、大幅な内容の更新があった。

また、NASA は独自にスペースデブリ低減に関する標準として NPR 8715.6(2024 年に E 版が発行された)と NASA-STD-8719.14 (2021 年に C 版が制定されている)を定めて、スペースデブリ低減に係る評価を実施することを要求している。

さらに、NASA は四半期ごとに Orbital Debris Quarterly News を発行し、破砕事象、軌道上環境及び関連研究等、スペースデブリに関する最新情報を公開している。(6 項(3)参照。)

民間の宇宙活動に関しては、2018 年に出された大統領令 SPD-3 (Space Policy Directives)により、FCC(Federal Communications Commission)が人工衛星のスペースデブリ低減を含む管理に対する許認可に対して責任を持つ規制当局として任命された。FCC は連邦規則集の 47 CFR Part 5(実験用衛星), 25(商用衛星), 97(アマチュア衛星)にてスペースデブリ低減に関する要求を制定している。2022 年には、地球低軌道保護域の運用終了後の廃棄寿命に関する定量的要求を国際標準である 25 年から 5 年に引き下げることが報告された。なお、廃棄寿命に関しては ODMSP では 25 年以下とされており、NASA、NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)、DOD(Department of Defense)といった他の米国機関はそれに準じている。廃棄寿命 5 年以下に加えて、衛星コンステレーションに対する廃棄成功確率 0.99 以上といった内容を含む規則改訂は 2024 年 9 月に施行され、新規衛星システムに対して適用が進められている。(6 項(14)参照。)

ロケット打上げに関しては、FAA(Federal Aviation Administration)が許認可を担う規制当局であり、連邦規則集の 14 CFR Part 450 §450.171 にてスペースデブリ低減に関する要求を制定している。また、近年の商業宇宙活動の拡大を踏まえ、2023 年 9 月にスペースデブリに関する新規則提案(Part 453)が出された。(6 項(15)参照。) しかしながら、FAA は 2026 年 1 月に当該提案を撤回し、事業者から寄せられた意見及び規制権限等を踏まえた追加検討を継続している。

4.3 欧州

ESA は ESA/ADMIN/IPOL(2014)2 “Space Debris Mitigation Policy for Agency Projects”に基づいてスペースデブリ対策を推進しており、技術要求としては ISO 24113 を採用している。ESA プロジェクトに対しては、従来適用していた ECSS-U-AS-10C “Space sustainability”に代えて、ESA 独自のスペースデブリ低減要求である ESSB-ST-U-007, Issue 1, Revision 1 “ESA Space Debris Mitigation Requirements” (2025 年 10 月改訂)を適用している。

ESA は近年、宇宙活動の長期的な持続可能性の改善に向けて、Zero Debris approach を推進している。この取組では、2030 年以降に実施される ESA ミッションについて、新たなスペースデブリを発生させないことを目標としており、設計、運用及びミッション終了後処分に関する要求を強化している。また、宇宙コミュニティ全体に向けた指針として Zero Debris Charter を公表し、各国宇宙機関及び民間事業者への参画を呼び掛けている。(6 項(11)参照。)

さらに、ESA は毎年 ESA’s Annual Space Environment Report を発行しており、世界的な宇宙活動の状況や、スペースデブリ低減策の有効性を継続的に評価している。(6 項(16)参照。)

仏国では宇宙活動法[7]およびその下位の技術規則(通称 Technical Regulations)に基づき、スペースデブリ対策を実施している。Technical Regulations は 2024 年に大幅に改訂され、衛星コンステレーション、軌道上サービス、宇宙環境の持続可能性等への対応が強化されている。

英国では CAA(Civil Aviation Authority)が民間宇宙活動に対する規制当局であり、宇宙活動に関する法律として、Outer Space Act 1986 (OSA)、Space Industry Act 2018 (SIA)がある。近年は商業宇宙活動の拡大に伴い、スペースデブリ低減及び軌道安全性評価の重要性が高まっている。

4.4 日本

JAXA は JMR-003「スペースデブリ発生防止標準」を制定、公開しており、2023 年に制定された E 版では、地球周回軌道以外の月軌道等に対する要求の識別などを新たに記載している。また、2022 年に JMR-016「人工衛星の衝突リスク管理標準」を制定、公開している。(6 項(12)参照。)

国内法としては、「人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律」(通称、宇宙活動法)が 2018 年に施行され、関連するガイドラインが公開されている。その中にスペースデブリ低減に関する事項も含まれており、日本で打上げや人工衛星の管理を実施する場合には許可申請を出す必要がある。(6 項(13)参照。)

なお、「人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律等の一部を改正する法律」が 2026 年 6 月 17 日に公布され、2027 年に施行予定である。この改正法により「宇宙ロケットの打上げ及び特定人工衛星の管理に関する法律」に題名が改められ、多様な需要に対応するため許可制度が拡充される。

[7] 原題： LOI n 2008 518 du 3 juin 2008 relative aux operations spatiales

5 学会・ワークショップ情報

5.1 第 12 回 JAXA スペースデブリワークショップ

JAXA 研究開発部門は、スペースデブリ問題に関する国内最大規模の国内外の関係者の議論の場として、「第 12 回スペースデブリワークショップ」を開催する。本ワークショップでは、国内外の技術動向等の情報を提供するとともに、各研究者間の積極的な協力関係の醸成を目指している。ワークショップは国際および一般セッションからなり、観測・SSA、STM、モデル、防護、低減、除去、法政策、コンステレーション、超小型衛星等の分野で発表が行われる予定。

詳細はこちら：https://www.kenkai.jaxa.jp/event/2026/debrisws2026.html

開催日：2026 年 11 月 18 日（水）～ 20 日（金）
主催：JAXA 研究開発部門
開催場所：X-NIHONBASHI　TOWER/BASE（東京都中央区日本橋）及びオンライン
https://www.x-nihonbashi.com/
参加費：無料

6 参考文書およびデータベース

(1) CSpOC：Space-Track (https://www.space-track.org)

(2) Seradata (https://www.seradata.com/)

(3) NASA：Orbital Debris Quarterly News (https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/quarterly-news/)
（Volume26, Issue2,3,4 / Volume27, Issue1,2,3,4 / Volume28, Issue1,2,3,4 / Volume29, Issue1,2,3 / Volume30, Issue1&2）

(4) NASA：History of On-orbit Satellite Fragmentation 16th Edition
(https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/hoosf_16e.pdf)

(5) NASA：Orbital Debris Engineering Model (ORDEM)

(6) ESA：MASTER (Meteoroid And Space debris Terrestrial Environment Reference)

(7) JAXA：人工衛星のすべてがわかる！人工衛星ガイドブック（4/2025,P.8/32）
(https://www.jaxa.jp/projects/pr/brochure/pdf/08/kids_02.pdf)

(8) UNOOSA：Web サイト
(https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/topics/space-debris/index.html)

(9) IADC：Web サイト (https://iadc-home.org)

(10) ISO：Web サイト (https://www.iso.org/home.html)

(11) ESA：Web サイト (https://technology.esa.int/page/space-debris-mitigation)

(12) JAXA：Web サイト (https://sma.jaxa.jp/techdoc.html)

(13) 内閣府：Web サイト
(https://www8.cao.go.jp/space/application/space_activity/application.html)

(14) 米国 FCC：Federal Register Vol. 89, No. 154

(15) 米国 FCC：Federal Register Vol. 88, No. 185

(16) ESA：ESA_Space_Environment_Report_2026 (Space_Environment_Report_latest.pdf)

(17) 外務省：Web サイト
(https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/technology/universe/copuos.html)

付録 I 用語集 (JMR-003E スペースデブリ発生防止標準等より)

用語	意味
宇宙機	宇宙で一連のタスク、機能を能動的・受動的に果たすために設計されたシステム。別途定義するロケットは除く。
衛星コンステレーション	特定の方式に基づく多数個の人工衛星の一群
スペースデブリ	地球周回軌道、月周回軌道、火星周回軌道、安定な地球-月ラグランジュ点、安定な太陽-地球ラグランジュ点にある無用な人類起源の物体。宇宙システムから分離する付属品、破砕により発生する破片、運用終了後の宇宙システムなどが含まれる。
破砕	宇宙機等が軌道周回中に、内部エネルギによる化学的爆発又は機械的破裂あるいは他の物体との衝突による機械的破砕等によりデブリを発生する現象をいう。 経年劣化等によるシステムの一部の離脱、剥離、落下中の空力破壊は含まない。
フラックス	単位時間、単位面積あたりに物体が通過する数。
保護軌道域	現状で特に利用頻度が高く、保全すべきと識別される軌道域である。具体的には以下に示す地球低軌道保護域、地球 12 時間周期軌道域および地球静止軌道保護域である。 a. 地球低軌道保護域：高度 2,000 km 以下 b. 地球 12 時間周期軌道域：高度 19,100 km 以上、23,500 km 以下の軌道域 c. 地球静止軌道保護域：静止軌道高度±200km かつ緯度：±15 度以内
メテオロイド	宇宙に存在する自然起源の粒子。主として小惑星か彗星を起源とする。
ロケット	宇宙機打上げ用ロケットを指す。なお、打上げ後に、目標軌道に乗る上段機体を軌道投入段と表現する。