

## C5

## デブリ規制の動向と JAXA 内の文書体系

Status of debris mitigation framework and the document system in JAXA  
to encourage compliance with it

○加藤 明 (JAXA)

○Akira Kato (JAXA)

デブリの規制は、西暦 1990 年代に NASA や NASDA などが機関独自の規格の整備に着手したことから始まり、2000 年代には IADC や国連などの国際的ガイドラインの制定に発展した。2010 年代はそれをベースに国際標準化機構 (ISO) の規格化が進み、宇宙産業国際市場への影響が大きくなってきている。国内的にも宇宙活動法により人工衛星の開発・運用に際して配慮すべきデブリ対策が示され、今後その詳細が府令によって定められることになる。一方で、デブリ問題は宇宙交通管理あるいは安全保証の問題と強くリンクされつつある。即ち、安全保障の側面からでは合意が得られない軍縮の問題も、衛星の破壊を伴う不穏な行動は、宇宙環境を悪化させる恐れがあると、軌道環境の保全の側面からデブリ問題と共闘することで前進させることができると思惑である。2016 年 6 月には国連における「宇宙活動の長期持続性の検討」にて第一段階のガイドライン案が採択され、別途議論されている宇宙活動に関する行動規範の作成の動きや、既に採択された透明性及び信頼性醸成処置に関する専門家会合の報告書などが、今後更にデブリ問題とリンクされ、全体に規制が強化されようとする動きがある。

以上の動きを紹介するとともに、デブリ対策設計・運用を促進するために、「JAXA スペースデブリ発生防止標準」の要求の解説、規制事項の意義、対応方法、解析ツール等、JAXA 及びその契約の相手方のエンジニアに提供する文書及び解析ツールについて紹介する。

History of regulatory activities started in 1990's by various debris mitigation standards in each national space agencies in the world, and followed by international guidelines in 2000's. In 2010's, the International Standardizing Organization (ISO) and other national regulation may effect on the international trading market. Domestically in Japan, so-called the National Space Act requires the set of debris mitigation activities generally applied in design and operation of launch vehicles and spacecraft. More detailed regulatory requirements will be set in near future.

On the other hand, Debris issue has been linked to the space traffic management and the national security. This is because the unfortunate situation triggered by lack of transparency and confidence building may bring about the significant degradation of orbital environment. The first edition of report of the working group of the "UN Long-Term Sustainability of Space Activities", and "international Code of Conduct for space activities" will force to strengthen these tendency.

This presentation introduce these situation. And also introduce document system in JAXA to limit the debris generation and support design and operation work.

# デブリ規制の動向とJAXA内の文書体系

## Status of debris mitigation framework and the document system in JAXA to encourage compliance with it

### 第7回 スペースデブリワークショップ (@ JAXA 調布)

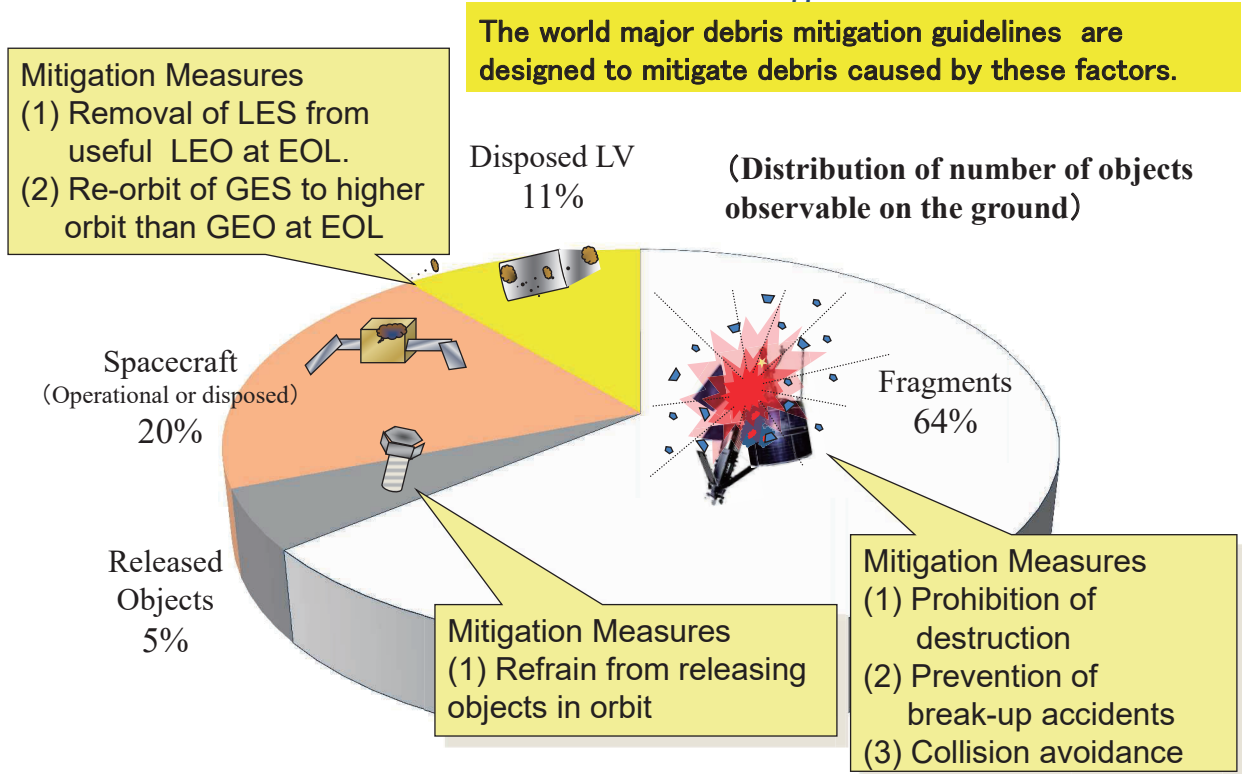
JAXA 安全・信頼性推進部

JAXA Safety & Mission Assurance Department

加藤 明

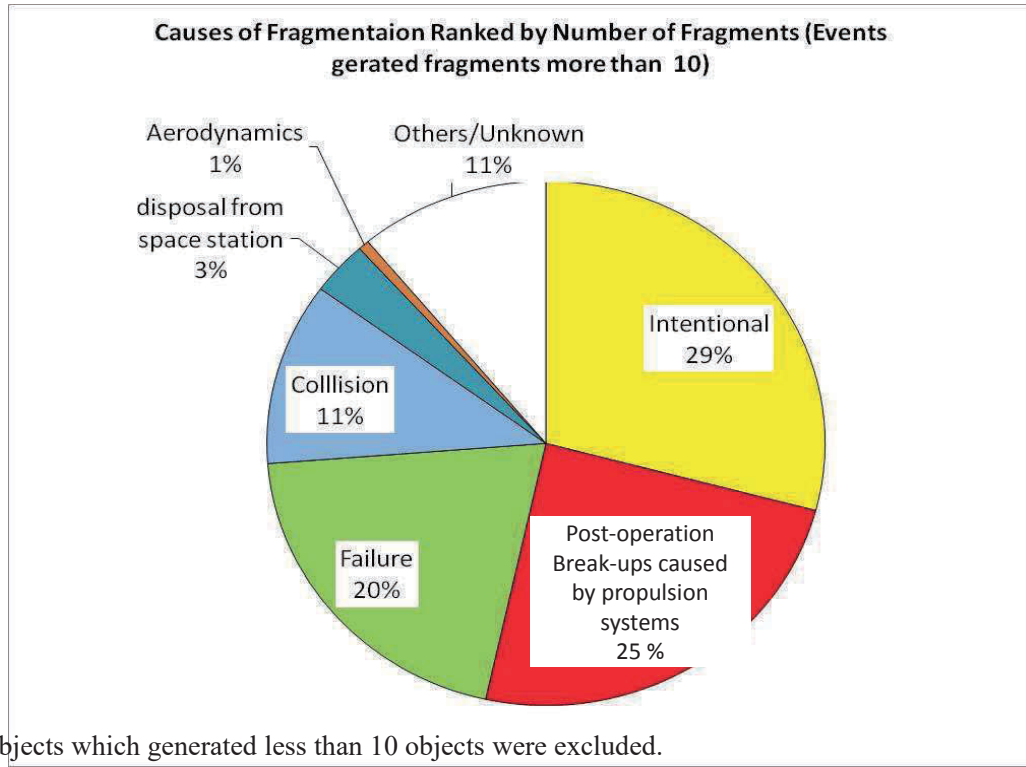
Akira Kato

### Causes of Debris Generation and Mitigation Measures



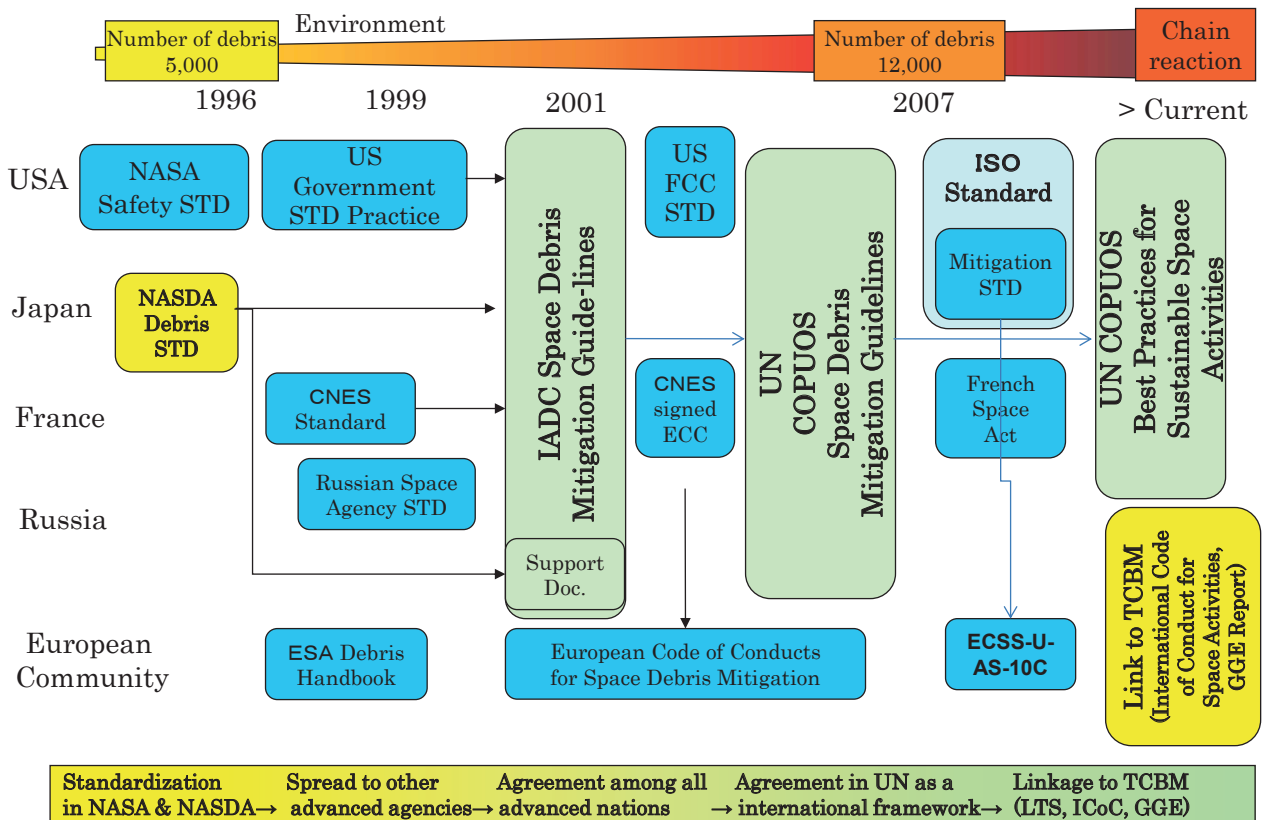
Data from a report of ESA presented at UNCOPUOS/STSC Conference held in February, 2011

### Distribution of Causes of Debris According to the Number of Fragments



The objects which generated less than 10 objects were excluded.  
 The events were assumed as “induced by failure” when spacecraft generated fragments within 5 years after launching, or the launch vehicles caused break-ups on the same day of launching.

### History of International Framework for Debris Control



**Table-1 global debris mitigation rules and JAXA standard**  
 The requirements are almost common including other various standards and guidelines.

		Measures	ISO Standards (or Technical Reports)	JAXA (JMR-003B)	IADC Guidelines <sup>g</sup>
Limiting Debris Generation	Released Objects	General idea to refrain from releasing objects	ISO-24113 / § 6.1.1	Required	§ 5.1
		Slag from Solid Motor	ISO-24113 / § 6.1.2.2, § 6.1.2.3	Required	--
		Combustion Products from Pyrotechnics	ISO-24113 / § 6.1.2.1 (Combustion Products < 1 mm)	Combustion products < 1 mm	--
	On-orbital Breakups	Intentional Destruction	ISO-24113 / § 6.2.1	Required	§ 5.2.3
		Accident During Operation	ISO-24113 / § 6.2.2 (Probability < 10 <sup>-3</sup> )	Required (Monitoring) (Probability < 10 <sup>-3</sup> )	§ 5.2.2 (Monitoring)
		Post mission Breakup (Passivation, etc.)	ISO-24113 / § 6.2.2.3 (Detailed in ISO-16127) (Probability < 10 <sup>-3</sup> )	Required	§ 5.2.1
Disposal at End of Operation	GEO	Reorbit at EOL	ISO-24113 / § 6.3.2 (Detailed in ISO-26872) § 6.3.2.2: 235 km+ (1,000 · Cr · A/m), e < 0.003 § 6.3.1: Success Probability > 0.9	235 km+ (1,000 · Cr · A/m) e < 0.003 Success Probability > 0.9	§ 5.3.1 235 km+ (1,000 · Cr · A/m), e < 0.003
	LEO (MEO)	Reduction of Orbital Lifetime	ISO-24113 / § 6.3.3 (Detailed in ISO-16164) § 6.3.3.1: EOL Lifetime < 25years § 6.3.1: Success Probability > 0.9	EOL Lifetime < 25years Success Probability > 0.9	§ 5.3.2 (Recommend 25 years)
		Transfer to Graveyard	ISO-24113 / § 6.3.3.2 (f) (guarantee 100 years' non-interference)	Required	Mentioned in recommendation-6
		Other manners	ISO-24113 / § 6.3.3.2 (a) ~ (e)	--	§ 5.3.2
Re-entry	Ground Casualty	ISO-24113 / § 6.3.4 (Detailed in ISO-27875)	Controlled with Ec	§ 5.3.2	
Collision Avoidance with Large Debris			ISO-16158	Required (CAM, COLA)	§ 5.4
Protection from Impact of Tiny Debris			ISO-16126	Required	§ 5.4 <sup>5</sup>

表-1 Change in circumstance-1: Domestic Law for Space Activities  
 周辺状況の変化-1: 日本国内法体系の整備

	低減策	フランス国内法付属 技術基準の関する省令 ロケット編	フランス国内法付属 技術基準の関する省令 宇宙機編	宇宙活動法案
運用中 放出品	部品類放出抑制	a) 衛星1機打上げ時: 1個 (軌道投入段) b) 複数衛星打上げ時: 2個 (ロケットとアダプタ)		(全般) 宇宙空間の有害な汚染等の防止 (22条)
	固体モータ残渣物		a) 静止保護域: 生成物<1mm, b) 低軌道保護域: 地上への過剰リスク回避	
	火工品		着火器: 生成物<1mm	
軌道上破砕	二次デブリの発生			
	破壊行為禁止	○		
	運用中の事故		破砕発生率<10 <sup>-3</sup>	
衝突	運用終了時の破砕防止処置		a) 残留エネルギーの排出 b) エネルギー生成手段の無効化	(1) 宇宙空間の汚染防止のための終了措置 (22条3) (2) 廃棄操作を行わない場合は、誤作動、爆発の防止 (22条4-2)
	大型物体衝突対策	運用中～廃棄後 3 日間、有人機との衝突リスクを制限	運用中～廃棄後 3 日間、有人機と静止衛星との衝突リスクを制限	他の衛星との衝突回避 (22条3)
	小型物体衝突対策			
運用終了後の処置 静止軌道・ 低軌道・ 中高軌道	リオービット距離	a) 打上げ後 1 年以内に保護域 (GEO ± 200 km) より排除 (100 年間の不干渉を確認) b) 廃棄成功率 (全期間) ≥ 0.9 (信頼度、推進剤充足率を含む)	a) 運用終了時に保護軌道域より排除 (100 年間の不干渉を確認) b) 廃棄移動用推奨充足率 ≥ 0.9 c) 廃棄成功率を評価	終了措置 (1) 高度を下げて空中で燃焼させる (一部落下物の着地点の安全の確保) (22条4-1) (2) 高度を上げて他の衛星運用への支障を回避 (22条4-2)
	GEO 下側保護域			
	保護域緯度範囲		-15 ≤ 緯度異 ≤ 15 deg (離心率規定無し)	(3) 他天体の衛星軌道に投入あるいは衝突。ただし当該天体の環境を悪化させない。(22条4-3)
	軌道滞在期間短縮	a) 制御再突入による除去 b) 制御不可の場合 25 年以内に軌道減衰 c) 廃棄成功率 (全期間) ≥ 0.9	a) 制御再突入による除去 b) 制御不可の場合 25 年以内に軌道減衰 c) 廃棄移動用推奨充足率 ≥ 0.9 d) 廃棄成功率を評価	
	墓場軌道への移動 軌道上回収		100 年間保護軌道域との干渉回避	
再突入時地上被害		a) 制御再突入: Ec < 2 × 10 <sup>-5</sup> b) 自然落下: Ec < 1 × 10 <sup>-4</sup>		

今後、詳細な設計上及び管理計画上の要求が内閣府令にて規定される。

表-2 Change in circumstance-2: Savior world standards  
 周辺状況の変化-2:ISO規格など規制の厳格化

		低減策	ISO (ISO24113 及び関連規格)	ISO (ISO24113 の改訂審議状況)
運用中 放出品		部品類放出抑制	○	○
		固体モータ残渣物	○	○
		火工品	燃焼生成物 <1 mm	燃焼生成物 <1 mm
軌道上破 砕		破壊行為禁止	○	○
		運用中の事故	破砕発生率<10 <sup>-3</sup>	破砕発生率<10 <sup>-3</sup>
		残留推葉放出、バッテ リの処置、圧力容器	○	○
衝突		大型物体衝突対策		軌道変更能力のある宇宙機への衝突回避要求
		小型物体衝突対策		廃棄移動能力に影響する機能の保護
運用終了後の処置	静止軌道	リオービット距離	235 km+ (1,000・Cr・A/m) 離心率<0.003 条件付き成功確率 <sup>(#1)</sup> >0.9 100年間不干渉	235 km+ (1,000・Cr・A/m) 離心率<0.003 設計寿命+廃棄完了時の成功確率 <sup>(#2)</sup> >0.85 100年間不干渉
		GEO 下側保護域	-200 km	-200 km
		保護域緯度範囲	-15°緯度 ≤ 15 deg	-15°緯度 ≤ 15 deg
	低軌道・ 中高度軌道	軌道滞在期間短縮	残存<25年 成功確率 <sup>(#1)</sup> >0.9	残存<25年 成功確率 <sup>(#2)</sup> >0.85
		墓場軌道への移動	○	○
	軌道上回収	○	○	
	再突入時地上被害	○	○ 0.0001 に言及	

注-1: 廃棄処置の成功確率は条件付確率  $P(D|M)$  は、 $P(D|M) = \frac{P(M \cap D)}{P(M)}$  ここで、P(M)は運用終了時点でのバス部の信

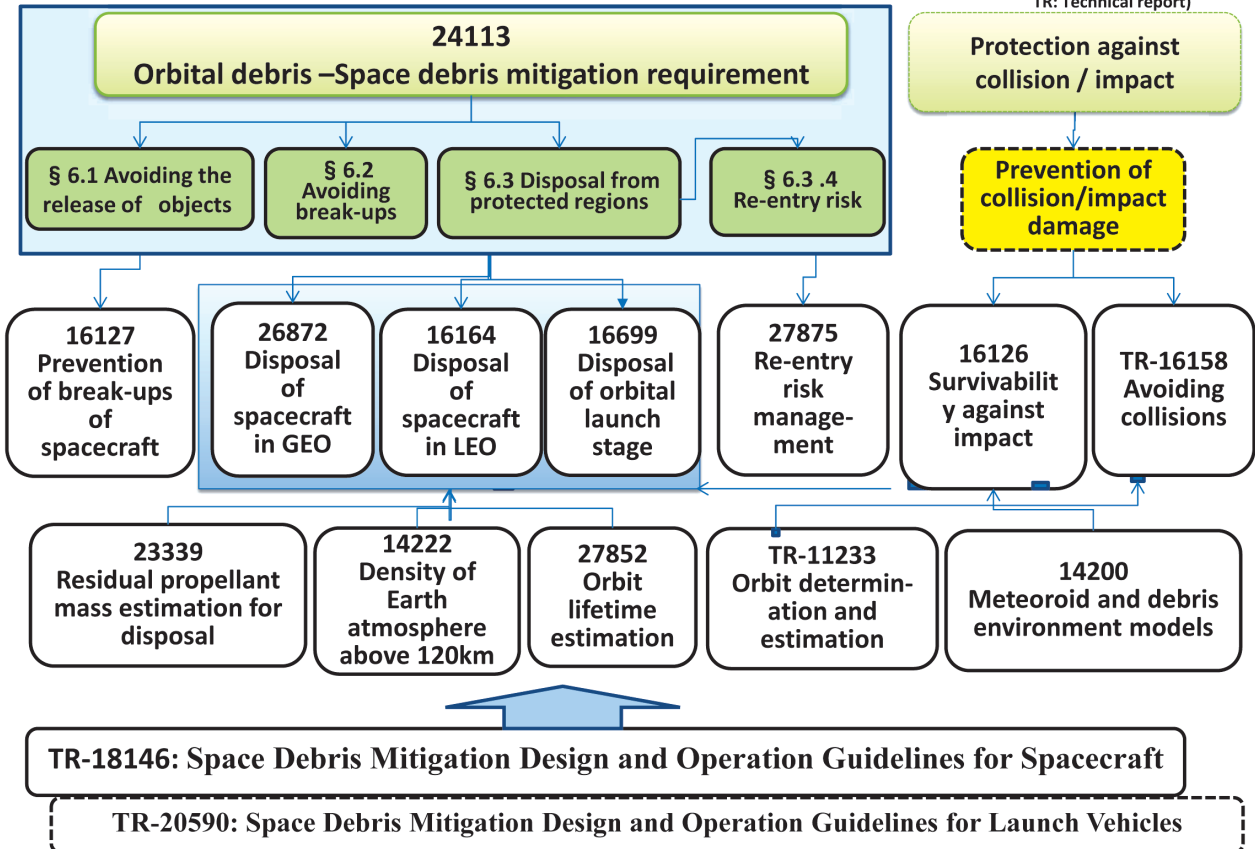
頼度、 $P(M \cap D)$  は廃棄操作系の操作完了時点での信頼度に、廃棄操作に必要な推進薬の充足率を掛け合わせたもの。(ISO24113 の 2011 年改訂)

注-2: 設計寿命後の廃棄完了時点での信頼度、廃棄操作用推進剤充足率、寿命管理品目の作動保証を併せて、成功確率が 0.85 以上。(ISO24113 の改訂審議 2016 年 10 月審議内容)

7

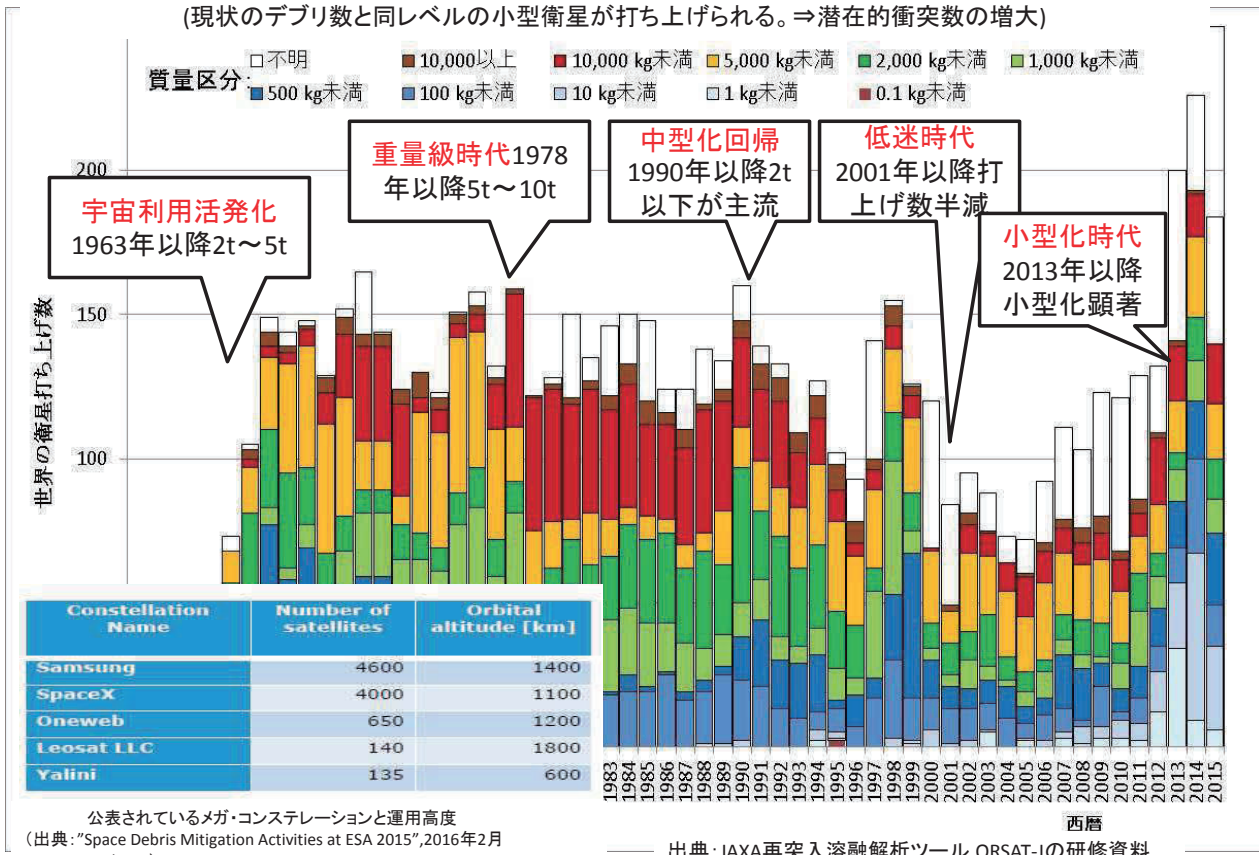
Structure of Major ISI Debris Related Standards

not published yet  
 TR: Technical report



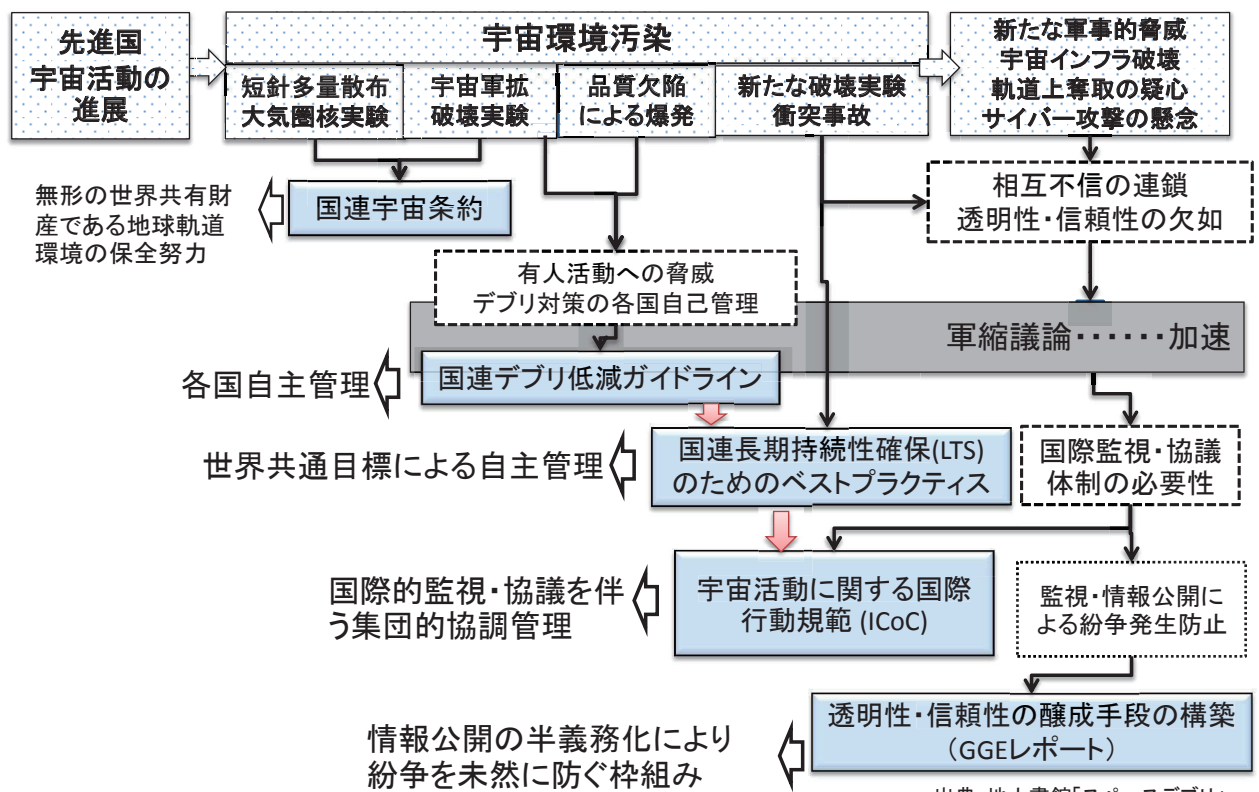
### Change in circumstance-3: Tendency of payload mass to be smaller

(現状のデブリ数と同レベルの小型衛星が打ち上げられる。⇒潜在的衝突数の増大)



### Change in circumstance-4: Link to TCBM

#### 周辺状況の変化-4: 宇宙活動の透明性・信頼性醸成措置とのリンク



**LTSベストプラクティス:ガイドラインの第一段階の合意事項(平成28年6月)**  
 (取り消し線は不採用事項:多くのTCBM支援事項、サイバー対策が見送られた。)

**A. 宇宙活動に関する方針及び規制体系**

(国家規制体系、監督)

- G-1 国内規制体系の策定、改正及び修正(G-9+12)
- G-2 国内規制体系の策定の要素の考慮(G-10+11+13+22+23)
- G-3 国内宇宙活動の監督(G-14+32+33)

(ITU無線周波数管理、有用軌道域保護)

- G-4 無線周波数スペクトルの効率的な使用及び軌道領域の確保(G-4)

**B. 宇宙運用の安全性**

(衝突未然防止策/衝突回避支援策)

- G-12 軌道データの精度向上、軌道情報の共有(G-24+26)
- G-13 デブリ監視情報の収集、共有及び普及の促進(G-21)
- G-14 運用中の接近解析の実施(G-25)
- G-40 宇宙物体の識別を助ける登録情報の提供(G-6)
- G-11 宇宙物体とその運用の調整窓口と情報交換(G-20)

(宇宙天気)

- G-16 有効な宇宙天気に関するデータ及び予報の共有(G-27+29)
- G-17 宇宙天気モデル及びツールの開発並びに宇宙天気による影響の低減のための確立した実施要領の収集(G-28+30)

**C. 国際協力、能力育成及び認知**

- G-25 能力育成の促進及び支援(G-17+19+31)
- G-26 宇宙活動への関心喚起(G-7+8+15)

**国際協力**

- G-23 長期持続性のための国際協力(G-16+18)
- G-24 経験と情報交換プロセッサの共有(G-1+2)

**D. 科学的・技術的な研究開発**

- G-27 宇宙空間の探査及び利用を支える研究・開発の促進(G-3+5)
- G-28 長期的な宇宙デブリの数を管理する手法の調査及び検討(G-36)
- G-29 宇宙物体の能動的除去に係わる基準と手順の開発・適用(G-34)

**サイバー対策**

- G-18 他国インフラのセキュリティの尊重(G-35)

旧G-36以降の追加提案は除く  
 出典: 地人書館「スペースデブリ」を一部改変

**ICoC 宇宙活動国際行動規範(案)**

**第一章 目的、範囲、一般原則**

<b>目的・範囲</b>	<b>一般原則</b>	<b>関連条約等の遵守</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全運航、安全保障</li> <li>・透明性と信頼性醸成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自由な宇宙へのアクセス</li> <li>・紛争を招く行動を避ける責任</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国際条約等の遵守</li> </ul>

**第二章「宇宙活動の安全、セキュリティ、持続性」**

事故、衝突、干渉を防ぐ政策	・破壊行為の抑制、衝突回避、事前通報、国家間協議、ITU規制の厳守	運用時のデブリ対策	デブリ低減の国内政策
---------------	-----------------------------------	-----------	------------

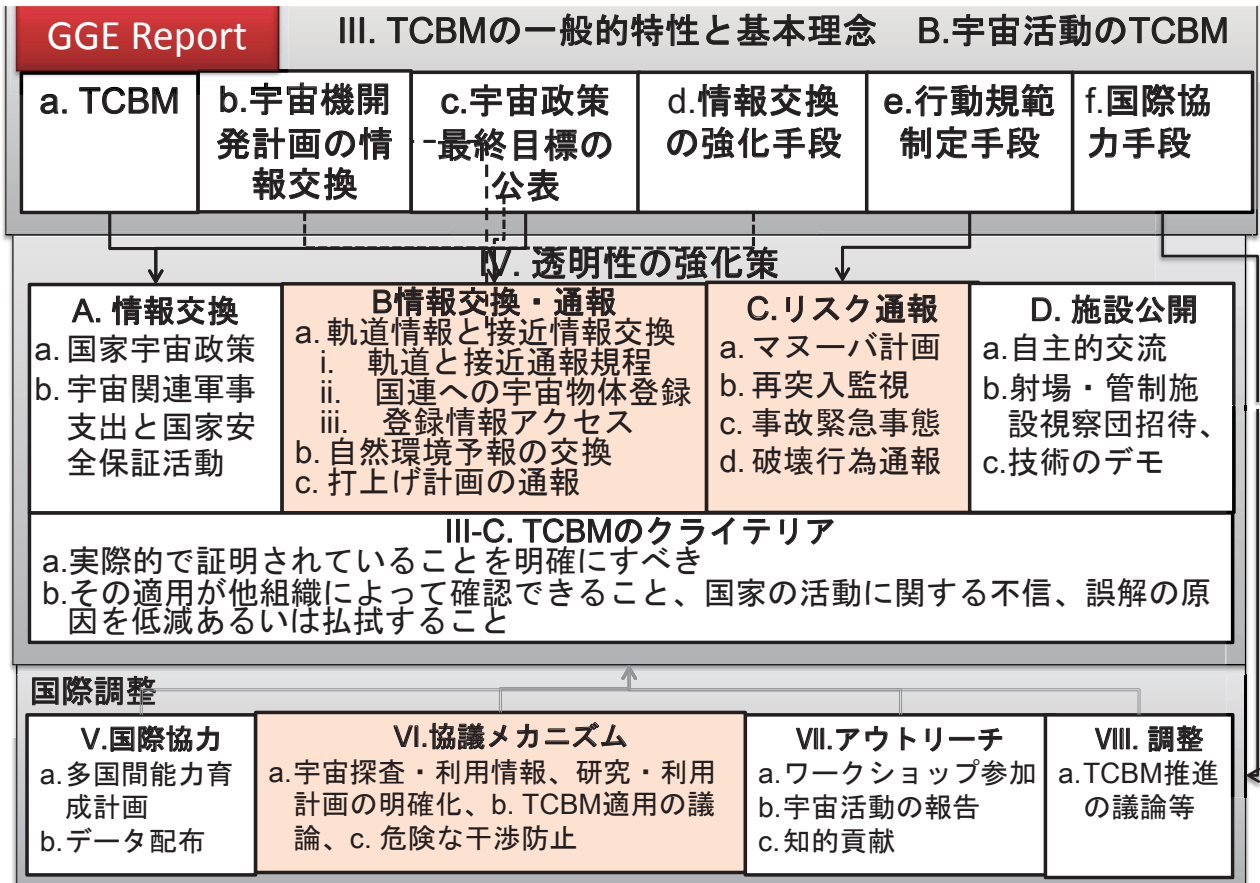
**第三章「協力メカニズム」**

<p><b>A. 宇宙活動の通報</b></p> <p>①軌道変更、②異常接近、③打上げ計画、④衝突、⑤破砕、⑥再突入、⑦重大な故障等</p>	<p><b>B. 宇宙活動の情報共有</b></p> <p>(1)安全保障戦略、宇宙計画、事故、衝突、デブリ政策、規制厳守作業                  (2) 自然現象、宇宙環境状況の提供                  (3) 国際協力、発展途上国への貢献                  (4) 公開:射場、追跡施設、打上げ、研究</p>	<p><b>C. 協議</b></p> <p>・有害行為実施国と協議                  ・国際法による解決                  ・事実の解明</p>
---	--	---

**第四章「組織的な事項」**

<p><b>A. 「署名国間会議」</b></p> <p>・毎年定期会合開催</p>	<p><b>B. 中央連絡窓口</b></p> <p>通報、DB維持、事務局</p>	<p><b>C. 地域連合及び政府間組織の参加</b></p>
--	--	---------------------------------

出典: 地人書館「スペースデブリ」



GGEレポート: Report of the Group of Governmental Experts on Transparency and Confidence-Building Measures in Outer Space Activities (A/68/189). 出典: 地人書館「スペースデブリ」 13

### JAXA管理標準、設計標準とISO規格等の関係

