

令和5年度製造基盤技術実態等調査（宇宙環境保全の
国際ルールに関する戦略検討に向けた調査）

調査報告書

令和6年3月

学校法人 日本大学

令和5年度製造基盤技術実態等調査（宇宙環境保全の国際ルールに
関する戦略検討に向けた調査）
成果報告書

目次

略 語	1
1. 本調査の背景および目的	3
2. SSR の妥当性の詳細検証、及び我が国宇宙産業振興の観点を考慮した対応方針の検討	4
2.1. SSR 運営組織へ参画、及び意見提示プロセスの確保	4
2.2. SSR の妥当性の詳細検証、及び改善すべき点の識別	4
2.2.1. SSR システムにおける格付け内容の概要	5
2.2.2. SSR における格付け内容の妥当性検証	6
2.2.3. 宇宙活動法と SSR の評価内容との対応関係	10
2.2.4. 改善すべき点の識別	11
2.3. SSR に対する我が国として取るべき対応方針の検討	13
2.4. まとめ	13
3. 宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの最新動向調査	14
3.1. 国際会議参加による最新動向調査	14
3.2. SSR の最新動向	17
3.3. 有識者へのヒアリング等による最新動向の識別	17
3.4. 宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの最新動向の整理	19
4. SSR 及び宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの最新動向が我が国企業や政策に与え得る影響 度の分析	20
4.1. 最新動向の影響度の分析	20
5. 宇宙環境保全に関する国際ルールに対して我が国が取るべき戦略の検討	22
5.1. 我が国が宇宙環境保全のルール形成を先導し国際競争力を確保するための戦略案の検討	22
5.1.1. SSR 及び宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの法制面からの分析（まとめ）	22
5.1.2. 我が国が取るべき戦略の検討	23
参考文献	25

図目次

図 2.1.1	SSR 協会の体制	4
図 2.2.1	LTS ガイドラインの枠組み	7
図 2.2.2	デブリ関連の ISO 文書（統廃合状況を含む）	8
図 2.2.3	最近 10 年間の宇宙機の破砕ケース ^[16]	9
図 3.1.1	オーストラリア宇宙機関による持続的な宇宙活動の概念図	15

表目次

表 2.2.1	SSR の評価モジュールの概要	5
表 2.2.2	SSR の格付けにおける各モジュールの重みづけ	5
表 2.2.3	SSR の格付け	5
表 2.2.4	SSR における技術情報の提示方法と評価係数	6
表 2.2.5	世界の国際的デブリ低減ガイドラインの比較	6
表 2.2.6	デブリ低減に関するガイドラインの例	7
表 2.2.7	ISO 24113 の破砕防止対策に係る要求	9
表 2.2.8	我が国の宇宙活動法による審査と SSR の評価項目との対応関係	11
表 2.2.9	SSR システムにおいて改善すべきと考えられる点	12
表 3.1.1	Space capacity allocation for the sustainability of space activities workshop での調査概要	14
表 3.1.2	EUCAS での調査概要	15
表 3.1.3	IOC II での調査概要	16
表 3.1.4	UNCOPUOS STSC での調査概要	16
表 3.1.5	STM 2024 での調査概要	17
表 3.3.1	有識者ヒアリング結果のポイント	18

略 語

ADOS	Application of Design and Operation Standards (SSR の評価モジュールの 1 つ)
ADR	Active Debris Removal (能動的デブリ除去)
ASI	Agenize Spaziale Italiana (イタリア宇宙機関)
BNSC	British National Space Centre (イギリス国立宇宙センター)
BSI	British Standards Institution (英国規格協会)
CNES	Centre national d'études spatiales (フランス国立宇宙研究センター)
COLA	Collision Avoidance Capabilities、あるいは、Collision Avoidance Analysis
DIT	Detectability, Identification and Trackability
DLR	Deutsch's Zentrum für Luft- und Raumfahrt (ドイツ航空宇宙センター)
ECOB	Environmental Consequences of Orbital Breakups
eSpace	EPFL Space Center (EPFL スペースセンター)
EPFL	Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (スイス連邦工科大学ローザンヌ校)
IAA	The International Academy of Astronautics (国際宇宙航行アカデミー)
IADC	Inter-Agency Space Debris Coeducation Committee (国際機関間スペースデブリ調整委員会)
LCOLA	Launch Collision Avoidance Analysis
ISO	International Organization for Standardization (国際標準化機構)
LTS	Long Term Sustainability (宇宙活動の長期的持続可能性)
NGSL	New Space Global Strategy Lab (一般社団法人 ニュースペース国際戦略研究所)
SSA	Space Situational Awareness (宇宙状況把握)
SSR	Space Sustainability Rating (宇宙持続可能性格付け)
STM	Space Traffic Management (宇宙交通管理)
UNCOPUOS	United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (国連宇宙空間平和利用委員会)
UNOOSA	United Nations Office for Outer Space Affairs (国連宇宙局)
WEF	World Economic Forum (世界経済フォーラム)

1. 本調査の背景および目的

近年、人工衛星の増加とそれに伴うスペースデブリの発生により、軌道上が人工物体で急速に過密状態になってきている。そのため、人類が今後も軌道を継続的に利用できるよう、様々な国際機関が宇宙環境保全に向けた警鐘を鳴らし、ガイドライン・基準等を制定している。その結果、人工衛星を使って持続的に宇宙ビジネスを行っていくためには、人工衛星が高度な環境保全性（環境に優しい人工衛星技術）を有することが必須となっている。

実際、産業界が能動的に宇宙環境の持続的利用に資する取り組みを行うインセンティブにつなげることを目指し、経済産業省も加わる中で、世界経済フォーラムを中心に、国際フォーラム標準として、人工衛星の宇宙環境の保全性を評価し事業者の格付け認証を行うルールである「Space Sustainability Rating」

（以下、「SSR」と称する）を検討してきた。当該格付けの認証実施機関として選定されたスイス連邦工科大学ローザンヌ校の EPFL 宇宙センター（以下、「eSpace」と称する）により、2022 年から認証が開始されたところである。

SSR により、スペースデブリ除去等の軌道上サービスや軌道環境の持続的な利用に資する更なる技術開発やその実装等に対するインセンティブが付与され、これらに強みのある我が国企業の追い風となることが期待される。

一方で、我が国企業の取組みが正当に評価されない算定ルールが含まれている場合に我が国企業の事業活動に悪影響となりかねない点、我が国から算定方法の改善提案等が通りにくくなる点、認証機関への英文文書提出が我が国企業にとってコスト増や情報流出につながりかねない点等、我が国企業の国際競争力への影響も懸念される。

本調査では、（１）SSR の妥当性の詳細検証、及び我が国宇宙産業振興の観点を考慮した対応方針の検討を実施して結果をとりまとめるとともに、（２）宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの最新動向調査を実施する。（３）その上で、（１）及び（２）により確認される SSR 及び宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの最新動向が、我が国企業や政策に与え得る影響度について分析を行うとともに、（４）我が国が取るべき戦略を検討し提言としてまとめた。

なお、調査研究は、（１）文献調査、（２）関係者へのヒアリング、（３）eSpace との議論に基づいている。

2. SSR の妥当性の詳細検証、及び我が国宇宙産業振興の観点を考慮した対応方針の検討

本報告書では宇宙環境保全の国際ルールに関して我が国が取るべき戦略を提言することになるが、それに先立ち、本章では、既に存在する国際ルール（フォーラム標準）の 1 つである SSR について、その妥当性を検討し、対応方針案を示す。

2.1. SSR 運営組織へ参画、及び意見提示プロセスの確保

SSR (Space Sustainability Rating) とは、人工衛星の運用者（事業者）が行う個々のミッションが宇宙環境に与える影響を点数化し、その点数に応じてインセンティブを与える格付けであり、世界経済フォーラム (WEF : World Economic Forum : WEF) のプロジェクト「Shaping the Future of Mobility Platform (未来を形作るモビリティプラットフォーム)」の枠組みで開発されたものである。

SSR はスイス連邦工科大学ローザンヌ校 (EPFL) の宇宙センター (eSpace) が窓口機関となって、2022 年 6 月に民間認証制度として正式にスタートしている。そして、2023 年 1 月にスイスの非営利法人 SSR Association (以下、SSR 協会) が設立され、現在は SSR 協会が運営を行っている^[1]。その運営体制は図 2.1.1 の通りである。日本大学は SSR 協会のファウンディングメンバーとして協会に参画し、SSR 協会の実質的な活動である WG 活動、ならびに、アドバイザリ・ボードに参加している (ファウンディングメンバーは、当初、日本大学と仏 Stellar 社だけであったが、2023 年に中国 DEBRIS-X 社と Ansys 社も参加した)。WG のとりまとめ担当者と直接、意見交換をしている。以上の活動を通じて、意見提示プロセスを確保した。なお、この図の通り、WG は Policy & Governance (WG1)、Technical (WG2)、Certification (WG3) の 3 つで構成されており、今年度は主に WG2 の活動、すなわち、SSR の格付けシステムの技術的課題の検討が進められた。なお、WG3 は 2023 年 11 月から開始されたもので、①格付け認証制度の確立、② (関連する ISO 規格等を参考にした) 認証プロセスの開発・立ち上げ、③SSR の普及・認知度の控除を目的に、SSR 協会の一般メンバーでもある ALTER TECHNOLOGY GROUP がリードしている。

以上の通り、意見提示プロセスを確保したことで、SSR の格付け評価方法・手順の改善案を SSR 協会に示すとともに、宇宙環境保全活動に関するアジア・太平洋地域の活動推進に向けた SSR 協会との調整を行った。詳細は次節以降に示す。

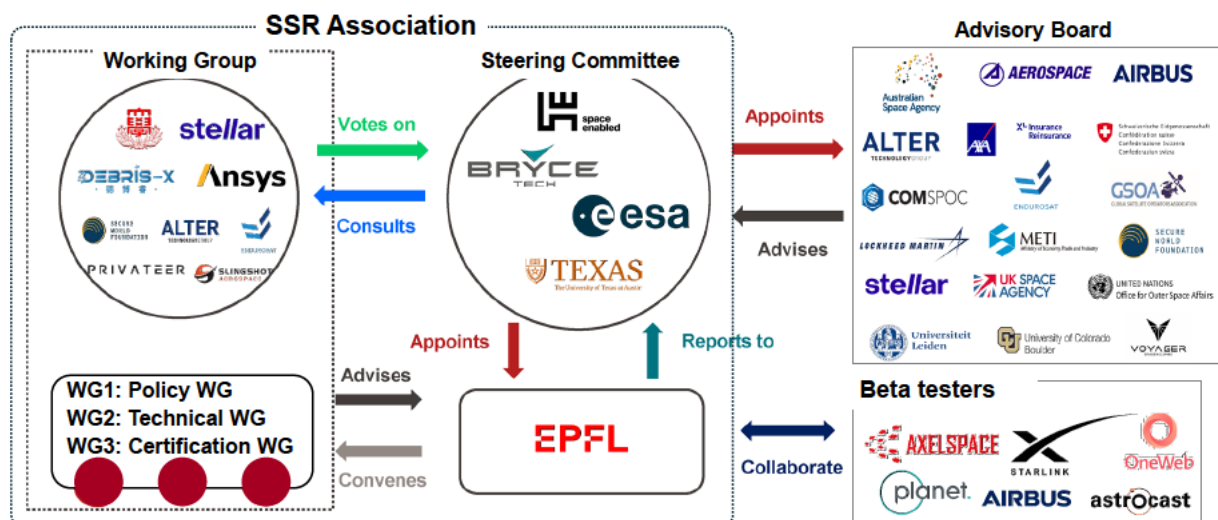


図 2.1.1 SSR 協会の体制

2.2. SSR の妥当性の詳細検証、及び改善すべき点の識別

まず、他の標準・ルール等と SSR との整合性、及び格付け内容の科学的・技術的妥当性の検証し、次に、我が国の宇宙活動法と SSR の格付けシステム (以下、SSR システム) の評価内容との対応関係の整理し、最後に、具体的かつ実行可能な改善点を識別した。以下、2.2.1 項では SSR の格付け内容の概要を示し、2.2.2 項以降に検証結果等を示す。

2.2.1. SSR システムにおける格付け内容の概要

SSR システムでは、格付け認証のための 6 つの評価モジュールを設定し、それぞれを点数化し、各モジュールの重みづけに従って、評価点を 0～100%で算出し、評価点に従って、BRONZE、SILVER、GOLD、PLATINUM の 4 段階の格付けを行っている。表 2.2.1 に 6 つの評価モジュールと評価項目の概要を表 2.2.4 に、各モジュールの重みづけを、表 2.2.3 に評価点と格付けとの関係をそれぞれ示す。なお、衛星運用者が格付けを申請する際、表 2.2.1 の通り、技術情報を提供する必要があるが、提供方法に応じて、表 2.2.4 の通り、係数を掛けることになっている。最も係数の高い「第三者技術審査」は、現状では SSR 協会の有識者による審査を指しているとのことである。

表 2.2.1 SSR の評価モジュールの概要

No.	評価モジュール	評価項目の概要
1	Mission Index	ECOB (Environmental Consequences of Orbital Breakups) ④に基づくミッションがスペースデブリ環境に与える影響(リスク指標)
2	DIT (Detectability, Identification and Trackability)	- 検出性：光学的検出とレーダー検出による検出性解析 - 識別性：（スコアリングに陽には含まれていない） - 追跡性：基準光学観測システム／追跡レーダーシステムの使用を前提とした将来の軌道変化推定 - 衛星の特性評価 - 追跡オペレータのパフォーマンス評価
3	COLA (Collision Avoidance Capabilities)	- 軌道の状態把握 - 衝突回避：他の運用者との調整可否・調整能力、マヌーバ能力 - 通常運用終了後の軌道情報の維持
4	Data Sharing（データ共有）	- 衝突回避調整情報の共有・更新（連絡先情報等） - 衛星測位情報の共有・更新（天体歴やその誤差共分散等） - 衛星特性情報の共有・更新（質量、形状、マヌーバ能力等） - 自律マヌーバ特性の共有・更新（マヌーバ発動基準や SSA との共有、緊急停止手順等） - その他、周波数や衛星の異常等の広報の共有・更新
5	ADOS (Application of Design and Operation Standards, 設計・ 運用標準の適用)	- スペースデブリの低減と運用に関するガイドライン文書の適用、および、それらの文書に対するテーラリング有無 - 自主的に適用したガイドライン文書の有無 - 宇宙機/打上ロケットのデブリ放出有無 - 爆発確率の最小化 - 運用終了後の不活性化 - 宇宙機/ロケット上段の運用終了後の廃棄軌道投入有無 - UNCOPUOS の宇宙登録簿への関連オブジェクト登録有無
6	Extra Services (外部サービス)	- 軌道上サービス機能の実装設計 - 標準化インターフェースの組み込み - 寿命延長サービスの利用/実証へのコミットメント - 外部 ADR の利用/実証へのコミットメント

表 2.2.2 SSR の格付けにおける各モジュールの重みづけ

No.	評価モジュール	重みづけ
1	Mission Index	50%
2	DIT	12%
3	COLA	16.5%
4	Data Sharing	16.5%
5	ADOS	5%
6	External Services	ボーナス点（最大で 2%）

表 2.2.3 SSR の格付け

格付け	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
				
評価点	40 – 55%	55 – 70%	70 – 80%	80 – 100%

表 2.2.4 SSR における技術情報の提示方法と評価係数

技術情報の提示方法	係数	提示方法
① 申請書による主張	0.5	申請者による説明
② 技術資料の開示	0.6	ミッション設計の裏付けとなる技術資料を開示
③ 技術資料の一般公開	0.8	技術資料を政府/非営利団体に提出し、一般に公開
④ 第三者技術審査	1.0	第三者の技術専門家による適合性確認を実施

2.2.2. SSR における格付け内容の妥当性検証

SSR の評価項目には、未だ国際的な合意が得られていないものが多く、仮に SSR が国際的に認知・普及した場合には、各国の国内法、ISO 24113などをベースとする宇宙環境保全体系との齟齬が表面化する可能性がある。そこで、他の標準・ルール等と SSR との整合性、及び格付け内容の科学的・技術的妥当性を調査した。以下では特に、次の3点について調査結果を示す。

- 1) 格付け評価のベースライン要求の妥当性
- 2) Mission Index の妥当性
- 3) 衝突回避活動に関するその他の指標の評価方法の妥当性

2.2.2.1. 格付け評価のベースライン要求の妥当性

一般的に、格付けを行う場合、そのベースライン要求は世界的に合意されたものに裏付けられたもので、かつ、その評価方法は十分な透明性を備えていなければならない。この点で、SSR には以下の a)~d)の問題があると考えられる。

a) 対象とするガイドラインの要求レベルの違い

SSR システムでは、格付けのベースライン要求として IADC ガイドライン、UN ガイドライン、および ISO 規格 (ISO 24113) のいずれかに準拠することを求めているが、表 2.2.5 に示す通り、それらが要求するレベルは互いに異なる。したがって、ガイドライン等への準拠という大枠の要求を示すのではなく、特定のベースラインを定義する必要があると考えられる。

表 2.2.5 世界の国際的デブリ低減ガイドラインの比較

	低減策	IADC ガイドライン (March 2020) ^[3]	UN ガイドライン ^[4]	ISO 24113:2019 及び関連規格 ^[5]
運用中 放出品	部品類放出抑制	○	○ (Rec-1)	○ 1 個以下、複数打上げで2個以下
	軌道投入機体数量			1 機 (複数打上時+1機)
	固体モータ残渣物			スラグ ≤ 1 mm
	火工品			排出物 ≤ 1 mm
軌道上 破砕	破壊行為禁止	○	○ (Rec-4)	○
	運用中の事故	○	○ (Rec-2)	破砕発生率 < 10 ⁻³
	残留推棄放出等	○	○ (Rec-5)	○
衝突	大型物体衝突対策	○	○ (Rec-3) (CAM, COLA)	衝突回避 (LEO は機能を有する場合、GEO は必須)
	小型物体衝突対策	○		廃棄機能喪失・破砕確率評価
	構造的破壊			デブリ衝突での発生頻度評価
運用終了後の処置	共通	廃棄成功確率	LEO: 成功確率 ≥ 0.9 GEO: 言及せず	成功確率 ≥ 0.9
	静止軌道	リオービット距離	235 km+ (1,000・Cr・A/m) 離心率 < 0.003	○ (Rec-7) 235 km+ (1,000・Cr・A/m) 離心率 < 0.003、100 年不干渉
		GEO 下側保護域	-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	推奨 (≤ 25 年)	○ (Rec-6) 残存 < 25 年
		墓場軌道への移動	言及せず	×
		軌道上回収	○	○
		再突入時地上被害	○	○ (Rec-6) ○ (Ec < 10 ⁻⁴)
		軌道滞在期間短縮	○	
	その他			

また、UNCOPUOS では、宇宙活動の長期的持続可能性ガイドライン (LTS ガイドライン) を 2019 年に制定している^[6]。その枠組みは図 2.2.1 の通りであり、デブリ軽減対策よりも幅広い範囲で策定され、衝突回避、衝突回避を支える情報共有、コンジャンクション評価に重点が置かれている。項目 c) (8 頁)とも関連するが、SSR の場合も、こういったより幅広い範囲で宇宙環境保全をとらえることが重要と考え

られる。実際、SSR の各モジュールの評価項目の一部は LTS ガイドラインの項目 A「宇宙活動に関する方針及び規制体系」、項目 B「宇宙運用の安全性」に対応していることを考えると、将来はこれら項目 A、B に各モジュールの中身を準拠させることも考えられるだろう。

LTSベストプラクティス:ガイドライン合意事項(平成30年2月)

A. 宇宙活動に関する方針及び規制体系	
A.1 国内規制体系の策定、改正及び修正	A.4 無線周波数スペクトル及び衛星軌道領域の合理的、効率的な使用の保証
A.2 国内規制体系の策定、改正及び修正の際の配慮	A.5 宇宙物体の登録活動の強化
A.3 国内宇宙活動の監督	
B. 宇宙運用の安全性	
B.1 調整窓口の提供と宇宙物体の運用情報の交換	B.6 有効な宇宙天気に関するデータ及び予報の共有
B.2 軌道データの精度向上、軌道情報の共有強化	B.7 宇宙天気モデル、ツールの開発、宇宙天気の影響の低減のための実施要領の収集
B.3 デブリ監視情報の収集、共有及び普及の促進	B.8 衛星のデブリ対策設計・運用の推奨
B.4 運用中の接近解析の実施	B.9 無制御再突入のリスクに関する対策の適用
B.5 ロケット打上げ前接近解析の実用的手法の開発	B.10 レーザ・ビームを宇宙に照射する際の事前警告
C. 国際協力、能力育成及び認知	
C.1 長期持続性を支える国際協力の推進と整備	C.3 能力育成の促進及び支援
C.2 長期持続性に関連する経験の共用と、情報交換	C.4 宇宙活動への関心喚起の手順の整備
D. 科学的・技術的な研究開発	
D.1 宇宙空間の探査及び利用を支える研究・開発の促進	
D.2 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	

図 2.2.1 LTS ガイドラインの枠組み

なお、各国・地域の宇宙機関や国際標準には、表 2.2.6 のような標準／ガイドライン／方針が既にある。今後、宇宙環境保全を国際的・包括的に考えていくとすれば、これらのガイドラインの各項目を表 2.2.5 のような形で比較・整理することが有用であろう。

表 2.2.6 デブリ低減に関するガイドラインの例

No.	機関等	ガイドライン等
1	IADC	IADC-02-01: IADC Space Debris Mitigation Guidelines ^[7]
2	UN	Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space ^[4]
3	UN	LTS Guideline (The Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities) ^[6]
4	ISO	Space Debris Mitigation Requirements ^[8]
5	NASA	NASA-STD-8719.14C: Process for Limiting Orbital Debris ^[9]
6	U.S.	U.S. Government Orbital Debris Mitigation Standard Practices ^[10]
7	Italy, UK, France, Germany, ESA	European Code of Conduct for Space Debris Mitigation ^[11]
8	JAXA	JAXA-JMR-003E: Space Debris Mitigation Standard ^[12]
9	Federal Space agency of Russia	General Requirements on Space Systems for the Mitigation of Human-Produced near-Earth Space Pollution ^[13]
10	ESA	ESA Space Debris Mitigation Policy ^[14]
11	Space Safety Coalition	Best Practices for the Sustainability of Space Operations

b) 評価指標の裏付け

例えば、ISO におけるデブリ低減の枠組みは図 2.2.2 の通りであり、ISO 24113 は、この図の通り、ISO 規格、技術仕様、技術報告書に裏付けされている。こういった枠組み・裏付けの体系を示すことも、SSR のような格付け認証を行う場合には重要と考えられる。

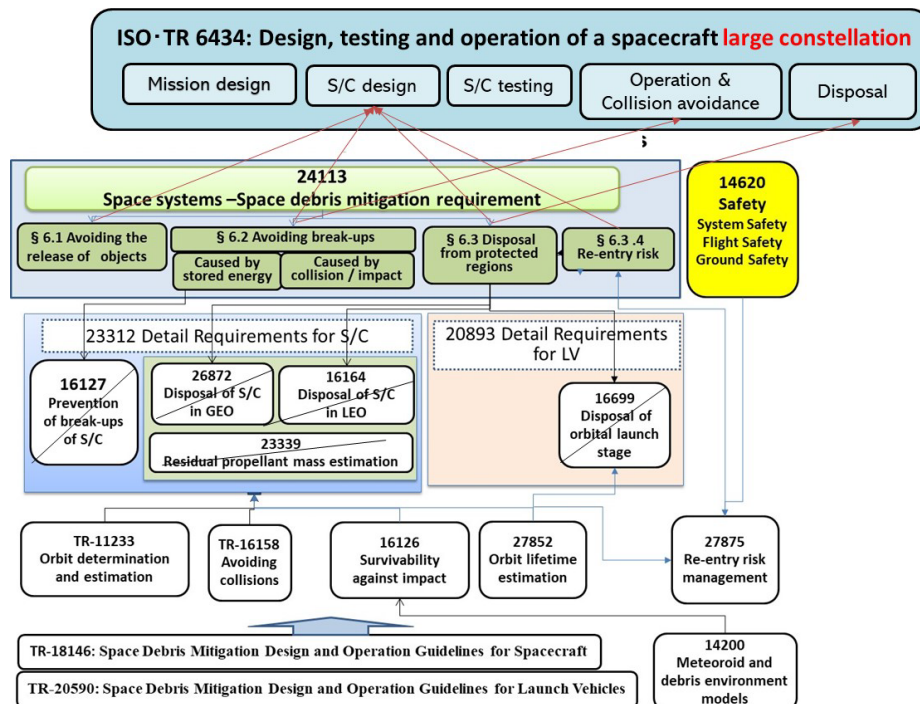


図 2.2.2 デブリ関連の ISO 文書（統廃合状況を含む）

c) 独自の評価指標・分析手順

現在、SSR システムでは、明確なベースライン文書は指定せず、表 2.2.1（5 頁）に示した通り、6 つのモジュールという独自の評価指標や分析手順を設定しているが、このような指標と分析手順はまだ国際的な合意を獲得していない。特に、Mission Index モジュールでは、ESA の ECOB に基づいたデブリ衝突による破滅的破砕確率の評価を評価項目に取り入れているが、現時点では世界的なデブリ低減ガイドラインにはそのような要求は存在しない。ISO 24113 にも類似の要求事項はあるものの、SSR の場合には運用終了後も評価が必要であり、その評価結果は宇宙機の断面積に大きく依存するため、宇宙機のサイズへの制約になる。この他の評価項目も含め、格付け希望者は自身の有する、従来の国内法制度に基づくコンプライアンス・マトリクスとは異なる SSR 用の設計基準、運用基準をベースに再度自己評価をしなければならない。つまり、衛星事業者は、二つのコンプライアンス マトリクス（二重基準）を維持する必要があり、非効率であると言わざるを得ない。SSR システムがあえてこの二重基準を求めるのであれば、既存のガイドライン制度、既存設計・運用基準体系との相違を公表する必要があるであろう。

d) 各モジュールの重みづけ

表 2.2.2（5 頁）の各モジュールの重みづけをみると、衝突回避以外のデブリ低減対策の内容が ISO24113 よりも粗くなっている。実際、ADOS モジュール（設計・運用標準の適用）では、衝突回避に関する記述と比べて、1) 適用すべき国際ガイドライン、2) 要求のテーラリングの有無、3) 任意追加の有無、4) デブリ放出の有無、5) 爆発確率、6) 残留エネルギーの除去、7) 廃棄軌道への移行、8) 宇宙物体の登録に関する国連条約への適合性の 8 については緩やかな記述となっており、衝突回避に偏った基準と言わざるを得ない。

例えば、破壊防止に関しては、SSR システムには破壊エネルギーを有する機器の設計、異常な兆候の監視、異常検出時の対策などの詳細な評価が含まれていない。実際、ISO 24113 では、表 2.2.7 に示す通り、破断防止対策が記載されているが、SSR システムにはこのようなものは示されていない。最近の ESA のレポート^[16]でも示されている通り、衝突による破砕よりも推進系やバッテリーなどの内部エネルギーによる破砕ケースの方がはるかに高いことを考えると（図 2.2.3）、SSR における衝突回避と破砕防止との評価のバランスの悪さは否めないだろう。

表 2.2.7 ISO 24113 の破砕防止対策に係る要求

Preventive measures against break-ups in ISO 24113 (in summarized)
Intentional destruction a) 6.2.1 Prohibit to plan the intentional destruction
Design measures to prevent break-ups a. The probability of accidental break-up of a S/C or L/V orbital stage shall be less than 10^{-3} until its end of life. b. The determination of accidental break-up probability shall quantitatively consider all known failure modes for the release of stored energy, capable of causing an accidental break-up. c. A spacecraft shall be designed and operated to actively manage collision risk until the end of life. d. During the design of a spacecraft an assessment shall be made of the risk that a space debris or meteoroid impact causes the spacecraft to break-up before its end of life.
Operational measures a. The condition of a spacecraft shall be monitored periodically during its operation to detect any anomalies that can lead to an accidental break-up. b. During the operation of a spacecraft, if an anomaly is detected which can lead to an accidental break-up then a contingency plan shall be implemented to mitigate this risk. c. A spacecraft that operates in the GEO protected region shall have a recurrent manoeuvre capability. d. For a S/C with the capability to actively manage collision risk, collision avoidance manoeuvres shall be conducted to reduce the risk of collision below the threshold.

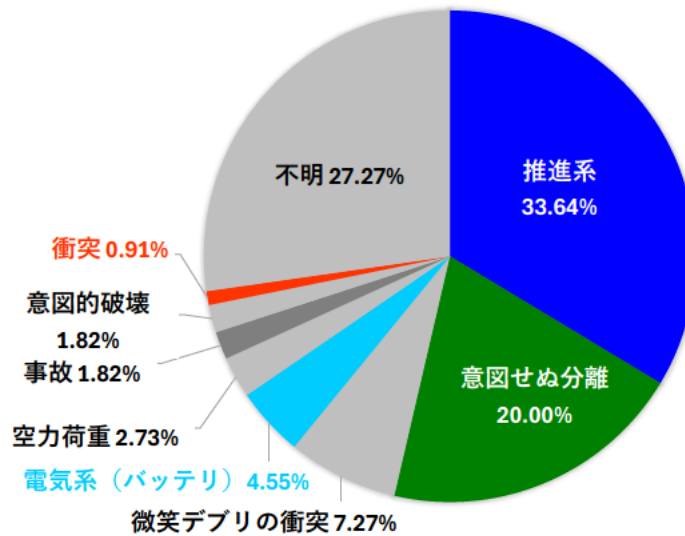


図 2.2.3 最近 10 年間の宇宙機の破砕ケース^[16]

2.2.2.2. Mission Index の妥当性

SSR システムでは、Mission Index を式(2.2.1)、すなわち、衝突確率と衝突の影響度の積で定義している。

$$I = \underbrace{p_c}_{\text{probability}} \cdot \underbrace{e_c}_{\text{severity}} \quad (2.2.1)$$

ここで、衝突確率 p_c をデブリ等の数密度 ρ 、相対速度 ΔV 、断面積 A 、時間 Δt を用いて次式で定義している。なお、ここで必要となる、軌道上デブリ・メテオロイド分布モデルとしては、SSR では ESA の「MASTER 8」を用いている。

$$p_c = 1 - \exp(-\rho \cdot \Delta V \cdot A \cdot \Delta t) \quad (2.2.2)$$

そして、これらの式を用いて運用時、廃棄処理成功時、廃棄処理失敗時のそれぞれの Mission Index $I_{operation}$ 、 $I_{disposal}$ 、 $I_{abandoned}$ を計算し、廃棄処理成功確率を考慮して、次式で衝突リスクを次式で評価するとしている。

$$I = (1-\gamma) \int_{t_0}^{t_{EOp}} I_{operation} dt + \alpha \int_{t_{EOp}}^{t_{EOLD}} I_{disposal} dt + (1-\alpha) \int_{t_{EOp}}^{t_{EOLND}} I_{abandoned} dt$$

(2.2.3)

where

- γ : Mitigated Collision Risk
- α : Post Mission Disposal Success Rate
- t_0 : Deployment Epoch
- t_{EOp} : Epoch of end of operation
- t_{EOLD} : Epoch of end of life in case of successful disposal
- t_{EOLND} : the minimum between 100 years and the epoch of re-entry in case the object is not disposed

結論として、以下の問題があると考えられる。

- 1) Mission Index に含まれる衝突影響度 e_c の算出方法が明示されていない。
- 2) γ の算出方法が明示されていない。
- 3) 式(2.2.3)は、静止軌道の宇宙機には当てはまらない。他の評価項目も含めて、SSR は低軌道宇宙機に対象を限定することが妥当であると考えられる。なお、静止軌道宇宙機については、従来の衝突回避体制を適用すればよい。
- 4) 軌道上デブリ・メテオロイド分布モデル「MASTER 8」は、現状では大規模コンステレーションの影響を考慮していない。今後、現在のカatalog化デブリの数より多くのコンステレーション宇宙機が軌道に打ち上ることを考えると、衝突確率の計算には別のモデルが必要になると考えられる。
- 5) 式(2.2.3)の右辺第 2、第 3 項を含めることで、運用終了後の軌道寿命を短くする努力が評価されることになるが、ここでも破碎の原因を衝突に限定しており、破碎ケースの多い残留推進剤の爆発や高压容器の残留ガスによる破裂等は考慮されていない。むしろ、こういった破碎を防ぐ設計努力をした衛星運事業者を高く評価することが、デブリ低減につながると考えられる。

なお、式(2.2.3)の右辺第 1 項は、衛星事業者によるデブリ低減努力が入り込む余地がなく、衛星のミッションが決まり、質量・サイズ・軌道等が決まると、自動的に算出されてしまうものと見受けられる。したがって、この式で評価することは、ミッションの自由度を損なうことにつながる可能性がある。

2.2.2.3. 衝突回避活動に関するその他の指標の評価方法の妥当性

SSR システムにおいて、Mission Index 以外で衝突回避活動に関する評価指標としては COLA (Collision Avoidance Capabilities) モジュールがあり、文献[17]にその詳細が記載されている。具体的な評価項目としては、

- ・ 軌道の状態把握
- ・ 他の運用者との調整可否
- ・ 他の運用者との調整能力
- ・ マヌーバ能力

の 4 つが挙げられる、この中で、4 つ目の「マヌーバ能力」は設計で対策できる。その他の 3 つについては、運用時に関わるものであり、COLA というよりは、Data Sharing モジュールで評価することがより妥当であると考えられる。

2.2.3. 宇宙活動法と SSR の評価内容との対応関係

我が国の宇宙活動法のガイドライン（人工衛星の管理に係る許可に関するガイドライン）^[18]と SSR の個々の評価項目との対応関係を表 2.2.8 に示す。ただし、ここでは明らかに対応しているもののみに「○」を付け、必ずしも完全に対応しているとはかぎらないものは空欄とした。なお、ADOS モジュールにおけるガイドラインの適用については「△」としたが、その内容から鑑みて、宇宙活動法のガイドライン自体を SSR におけるガイドライン文書の 1 つとすることが適切であろうと考えられる。

表 2.2.8 我が国の宇宙活動法による審査と SSR の評価項目との対応関係

No.	評価モジュール	SSR の評価項目	対応する宇宙活動法の項目
1	Mission Index	ECOB (Environmental Consequences of Orbital Breakups) ^[2] に基づくミッションがスペースデブリ環境に与える影響(リスク指標)	
2	DIT (Detectability, Identification and Trackability)	検出性：光学的検出とレーダー検出による検出性解析	
		識別性	
		追跡性：基準光学観測システム／追跡レーダーシステムの使用を前提とした将来の軌道変化推定	
		衛星の特性評価	
		衛星の特性評価	
3	COLA (Collision Avoidance Capabilities)	軌道の状態把握	○
		衝突回避：他の運用者との調整可否・調整能力、マヌーバ能力	
		通常運用終了後の軌道情報の維持	○
4	Data Sharing (データ共有)	突回避調整情報の共有・更新（連絡先情報等）	
		衛星測位情報の共有・更新（天体歴やその誤差共分散等）	
		衛星特性情報の共有・更新（質量、形状、マヌーバ能力等）	
		自律マヌーバ特性の共有・更新（マヌーバ発動基準や SSA との共有、緊急停止手順等）	
		その他、周波数や衛星の異常等の広報の共有・更新	
5	ADOS (Application of Design and Operation Standards, 設計・運用標準の適用)	スペースデブリの低減と運用に関するガイドライン文書の適用、および、それらの文書に対するテラリング有無	△
		自主的に適用したガイドライン文書の有無	
		宇宙機/打上ロケットのデブリ放出有無	○
		爆発確率の最小化	○
		運用終了後の不活性化	○
		宇宙機/ロケット上段の運用終了後の廃棄軌道投入有無	○
		UNCOPUOS の宇宙登録簿への関連オブジェクト登録有無	○
6	Extra Services (外部サービス)	軌道上サービス機能の実装設計	
		標準化インターフェースの組み込み	
		寿命延長サービスの利用/実証へのコミットメント	
		外部 ADR の利用/実証へのコミットメント	

2.2.4. 改善すべき点の識別

既に前項までの妥当性検証に併せて改善すべき点も具体的に記載してきたが、表 2.2.9 にそのポイントをまとめ、併せて、我が国の宇宙産業振興視点で見たときの影響度も示す。

表 2.2.9 SSR システムにおいて改善すべきと考えられる点

No.	改善項目	改善すべき点	産業振興への影響度
1	全体	独自の評価項目を設定しているため、衛星事業者は従来の基準と合わせて二重の設計・運用基準体系に対応せざるを得なくなる。これを避けるために、国際的に認められたガイドラインや各国の国内法におけるガイドラインの具体的な項目を評価項目の基本とすること	◎ 我が国企業は二重基準を設ける必要がなくなり、格付け申請に伴う作業を大幅に削減できる。
		衝突回避に偏ることなく、推進系やバッテリーの破砕防止対策など、実際の破砕ケースに対応した評価項目に対する重みづけを高くすること	◎ 宇宙活動法に準拠していれば評価値が高くなることになり、我が国企業にとっては有利となる。
		LTS ガイドラインを活用すること	△ これにより我が国企業に特に有利、あるいは不利になることはないが、「LTS ガイドラインに沿って設計・開発・運用をすれば、宇宙環境保全に資する活動をしていることになる」というメッセージが明確になり、宇宙環境保全を重視したい我が国企業の設計・開発・運用方針設定に役立つ。また、格付けに対する周囲の評価もより高まると考えられる。
2	Mission Index	衝突影響度 e_c 、ならびに、衝突リスクの低減度 γ の算出方法を明示すること	△ これにより我が国企業に特に有利、あるいは不利になることはないが、我が国企業に限らず、格付けを申請するかしないかを検討する際の重要な材料が得られることになる。また、宇宙関係者からの SSR 自体への理解も深まる。
		現状の Mission Index による評価は低軌道宇宙機に限定すること	○ 仮に SSR が普及した場合、格付けを取得していない企業は、ビジネスチャンスを失うなどの不利な状況に置かれる可能性がある。低軌道宇宙機に限定することを明確にすれば、我が国企業に限らず、静止衛星事業者等、低軌道でない宇宙機の事業者は、そういった衛星には適していない格付け方法で格付けを受けざるを得ない状況に置かれずに済む。
		大規模コンステレーションに対応した軌道上デブリ・メテオロイド分布モデルの設定、および、衝突確率の計算を導入すること	△ 現状では、我が国には大規模コンステレーションを行う企業はないので、この改善により我が国企業に影響を受けることはないが、今後、大規模コンステレーション企業が我が国にも生まれた場合には、より適切な方法で格付けがなされるという意味で、ポジティブな影響を受けることになるだろう。
3	ADOS	IADC ガイドライン、UN ガイドライン、ISO 規格 (ISO 24113) など、要求レベルの異なるガイドラインへの準拠を評価項目とするのではなく、運用中から運用終了後の処置 (廃棄) に至るまでにおいて、表 2.2.5 に示したような粒度で、より具体的に評価項目を設定すること	○ これにより評価内容がより具体的で明確になるという意味で、我が国企業に限らず、格付け申請を検討中の企業は、申請作業に対応しやすくなる。

2.3. SSR に対する我が国として取るべき対応方針の検討

宇宙利用の拡大とそれに伴う宇宙環境保全に関する関心の高まりにより、国際的にも、宇宙環境保全に向けた努力に対するインセンティブを設けることに前向きな意見が増え始めている（詳しくは3章（14頁以降）にて報告する）。SSR もそのインセンティブの1つと位置付けられる。既に述べてきた通り、SSR には未だ技術的課題が残っていると考えられることから、SSR の動きを見つつも、より広い視野で宇宙環境保全に資する活動を注視していくことが肝要であろう。その一方で、仮に SSR が国際的に一定の認知度を得ることになったときのことを考え、これまで通り、SSR 協会に対して、SSR がより科学的・技術的に適切なものとなり、国際的に公平な格付けシステムとなるよう、働きかけを続けることも必要であると考えられる。具体的には、表 2.2.9 に示した改善点を継続的に訴えていくことが重要である。その中でも、我が国の宇宙産業振興、ならびに、SSR 協会にとってのメリットの2つの視点から最も有効と考えられる対応方針は、次の3つであると考えられる。

- a) SSR の ADOS が掲げるガイドラインに各国の宇宙活動に関する国内法を追加するよう、働きかけること
- b) その一環として、我が国の宇宙活動法に関する「人工衛星の管理に係る許可に関するガイドライン」（の英語版^[9]）を ADOS のガイドラインに追加するよう、働きかけること
- c) その際、表 2.2.8 のような対応関係も併せて示すことで、我が国の衛星運用者（事業者）が格付け申請をする際には、対応する項目に関する情報提供等の手間を省略できるよう、働きかけること

2.4. まとめ

本章では SSR システムの評価内容の妥当性を検証し、改善すべき点を明らかにするとともに、それに基づいて、我が国の宇宙産業振興と SSR 協会のメリットの両方の観点を考慮した、SSR への対応方針案を示した。

3. 宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの最新動向調査

本章では宇宙環境保全に影響を与える各種勧告・規制や技術要求、ガイドラインや規格の制定・改訂等の国際ルールメイキングや関連するフレームワーク形成の最新動向を調査し、その中で特に注視すべき宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの最新動向を識別する。

3.1. 国際会議参加による最新動向調査

宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの最新動向調査の一環として、以下の国際会議に参加し、調査を行った。その結果の概要を表 3.1.1～

表 3.1.5 に示す。

- 1) Space capacity allocation for the sustainability of space activities workshop (イタリア・ミラノ工科大学 (Politecnico di Milano) Piazza Leonardo キャンパス、イタリア、2023 年 6 月 4 日～6 月 8 日)
- 2) The 10th European Conference for Aerospace Sciences (EUCASS) (The Swiss Tech Convention Center in Lausanne、スイス連邦共和国、2023 年 7 月 9 日～7 月 13 日)
- 3) The Second International Orbital Debris Conference (IOC II) (シュガーランド、テキサス、2023 年 12 月 4 日～12 月 7 日)
- 4) 国際連合・宇宙平和利用委員会(UNCOPOUS)・科学技術小委員会 (STSC) (ウィーン、オーストリア、2024 年 2 月 5 日～7 日)
- 5) Space Traffic Management Conference (STM 2024) (テキサス大学オースティン校、2024 年 2 月 27 日～2 月 28 日)

表 3.1.1 Space capacity allocation for the sustainability of space activities workshop での調査概要

会議目的	Space capacity のモデリングと管理に関する研究の現在の進歩の情報交換に加え、宇宙の持続可能性と宇宙容量管理に関する議論を進めるための学際的なフレームワークを提供することを目的とした Workshop 形式の会議。主なテーマは以下の通りである。 - スペースデブリ環境の長期変動モデル化 - 宇宙環境へのミッションの影響を評価するための指標の定義 - 全体的な Space capacity のしきい値の測定および定義 - 宇宙環境を長期的に管理するための提案 - スペースデブリの低減と Space Capacity マネジメント戦略の適用可能性に関する政策経済研究
本事業との関連	宇宙環境保全の定量評価のキーとなる、“Space Capacity”に関する議論が行われたこと、ならびに、SSR 協会も同会議にてプレゼンテーションを行ったこと
宇宙環境保全の国際ルールメイキングに関する特記事項	1) 低軌道衛星の廃棄に係る 25 年ルールを 5 年に短縮化した場合 (いわゆる「5 年ルール」) の効果についての解析例が紹介された。短期的 (20～30 年程度) にデブリ削減効果はあっても長期的には大きな差異は無いことが示された。一方で、民間 SSA 事業者からは「短期的に効果があるならば、5 年ルールを促進すべきである。」との意見も出された。 2) オーストラリア宇宙機関では宇宙活動の環境への影響を総合的に評価する研究を開始している旨のプレゼンがあった (図 3.1.1 (15 頁) 参照)。その中で、アルミナ (衛星再突入&ロケット打ち上げ) のオゾン層破壊の影響について言及があった。 3) “Impacts of Thermosphere Contraction on Debris Accumulation and Orbital Capacity”とのタイトルで地球温暖化に伴う熱圏大気の冷却化によるデブリの軌道寿命の増加についての研究が報告された。 4) ESA のゼロ・デブリ・アプローチについて紹介がなされた。2030 年までに段階的にデブリ低減関連の要求を充実させ、2030 年には打ち上げによるデブリの増加量が De-Orbit 措置や ADR によるデブリ除去によって 100%相殺されることの実現を目指すとの

	ことである（軌道上での累積衝突確率を要求化し、衝突確率が 1/1 000 を超える物体に対し打ち上げ前に ADR 企業との契約をさせる等も考慮したいとのこと）。 5) 日本大学と JAXA との共著で” How should small debris be treated in “Space capacity” ?” とのタイトルで発表を行った。その中で、宇宙環境保全に向けた “What to do” の要求は IADC デブリ低減ガイドラインはじめ、多くの文書で規定されているが、“How to do” に資する文書や情報、ツールを整備しないと、デブリ低減を実際に行うことは困難、と主張した。この説明には一定の理解が得られた。 6) Working Groups Session では以下のような議論がなされた。 - Space capacity については、大事な概念であるとして、議論が進められている。どのような定量的な定義が行われ、ガイドライン等に反映されていくか不明だが、動向は注視すべきである。 - SSR については、「エンドユーザーが価値を認めるのか？」という疑念はありつつも「こういう格付けの仕組みはあることが望ましい」という意見が大勢であった。 - 「企業の自助努力で軌道環境の持続性確保が可能か」という題目に対しては、企業にとって軌道環境劣化は商業活動の場を失い企業利益を低下させる（サービス提供ができなくなる）ので当然自主的なガバナンスが効くと予想されるが、スタートアップのようなベンチャーはそのような自律的な活動は困難であり、公的機関がレギュレーション適用をきちんと監視すべきであろう、という点で合意した。 - また、格付けがが効果的に機能すれば「自主的なガバナンス」をサポートするだけでなく、その企業が「社会的責任を果たしている」とのアピールにもなり得る。このことから、宇宙環境保全に対する格付けは企業にとっても有益なツールになるとの意見がみられた。 - 一方、大規模コンステレーション等が増え、打ち上げ機数・再突入機数が飛躍的に増えることから「地球（大気）環境の影響」を今後検討していく必要になるのではないかといった議論がなされた。
--	--

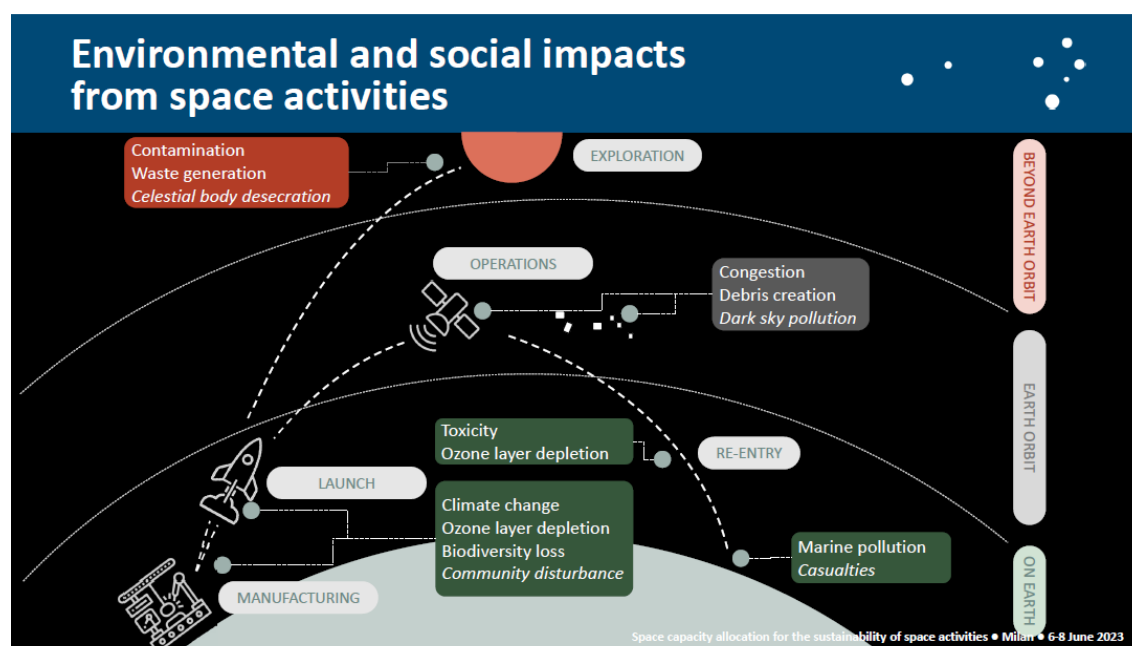


図 3.1.1 オーストラリア宇宙機関による持続的な宇宙活動の概念図

表 3.1.2 EUCAS での調査概要

会議目的	宇宙と航空学のつながりを強化し、相互交流を促進し、欧州での航空宇宙科学の主要な統一国際会議の基礎を築くこと
本事業との関連	SSR 協会の本部である EPFL がホストをしており、SSR も含めて宇宙環境保全のルールメイキングに関する発表が 30 件程度なされた
宇宙環境保全の国際ルールメイキングに関する特記事項	1) “Comparison Study on the Environmental Impact of Different Launcher Architectures” とのタイトルで、打上げ機の製造に伴う地球環境への影響を評価する手法が示され、異なる軌道に 1 トンのペイロードを投入する場合のさまざまな打上げ機のアーキテクチャと推進剤システムの比較が行う発表がなされた。特に、ロケット製造工程からの CO2 排出量評価方法が紹介された。

	2) “Sustainable Space Hub at EPFL: a review of ongoing research projects”とのタイトルで、EPFL Space Center (eSpace) の宇宙持続可能性に関する活動紹介がなされた。 3) “Promoting responsible space practices: A primer on the Space Sustainability Rating”とのタイトルで、SSR の評価理論の最新状況が紹介された。 4) “A Consensus-Based Single-Score for Life Cycle Assessment of Space Missions: Preliminary Results”とのタイトルで、宇宙システムのライフサイクルの環境負荷の評価方法の検討状況が紹介された。また、これを SSR の新規モジュール「LCA」とすることが提案された。 5) “Assessment of the CZ-6A R/B and the H-2A DEB fragmentation events”とのタイトルで、中国の CZ-6A ロケット上段起因の物体が H-2A 上段に衝突して発生したデブリの解析結果が示された。 6) “Exploring large astronomical data archives for the characterization of space debris”とのタイトルで、天文データ アーカイブから衛星、デブリ、太陽系天体を効率的に抽出するための方法が紹介された。 7) “Space-based passive orbital maneuver detection algorithm via a new characterization”とのタイトルで、非協力物体の軌道マヌーバ検出方法が提案された。 8) “Tracking the health of the space debris environment with THEMIS”とのタイトルで、スペースデブリ・インデックスの計算ツール THEMIS の理論の説明がなされた。なお、THEMIS は 2023 年末までにウェブベースのフロントエンドを通じてリリースされる予定であり、SSR における Mission Index 算出のベースにもなっている。
--	---

表 3.1.3 IOC II での調査概要

会議目的	軌道上デブリ、ならびに、それに付随する宇宙環境保全、STM 等に関する研究成果発表・議論
本事業との関連	宇宙環境保全、SSR 及び STM に関連した情報収集・意見交換が可能であり、SSR 協会が SSR の紹介を行った。
宇宙環境保全の国際ルールメイキングに関する特記事項	1) NASA の「機関内研究」の報告が主であった。その中で、国内では研究が停滞している PFA (Post Flight Analysis) 等の現状の情報が示された。 2) 衛星の室内爆破実験の結果及び超高速度衝突試験の結果を受け、NASA のデブリ環境モデル (ORDEM) の Ver4.0 からデブリの形状パラメーター (D/L : 直径/長さ) を組み込む計画が説明された。 3) Space Traffic Coordination and Policy について、民間での自主ルール作りが進んでいる。我が国の宇宙産業にどのような影響を生じるか、動向注視が必要である。

表 3.1.4 UNCOPUOS STSC での調査概要

会議目的	宇宙平和利用に関する科学技術について議論すること
本事業との関連	宇宙環境保全、SSR 及び STM に関連した情報収集を行った。特に、LTS Workshop に参加し、LTS ガイドラインの改訂作業の状況を確認した。SSR 協会により SSR が紹介され、紹介内容と関係者の意見を確認した。
宇宙環境保全の国際ルールメイキングに関する特記事項	1) 各国とも LTS に関する現状の状況・技術紹介が主体で LTS ガイドラインの実装促進策や具体的な改訂提案の議論はみられなかった。 2) Collision Avoidance の実施状況と必要な施策、LCORA の完全実施状況等、またそれらに伴う STM に関する技術促進とルール形成の必要性が提示され、同意を示す意見がいくつかの国から出された。 3) SSR についての資料配布が行われた。しかし、SSR の格付け認証を受けることは LTS ガイドラインの実装に相当することや、SSR の内容は LTS ガイドラインの改訂 (LTS2.0) に役立つという点は言及されておらず、SSR の概念の紹介にとどまっていた。 4) ① LTS 適用に関する課題、② LTS に関するキャパビルに関する課題、③ 今後チャレンジする領域の 3 つのカテゴリについて、検討が始まっている。現在はまだ LTS1.0 の実装を促進する段階であるが、その後はこういった課題に関する議論が重要となると考えられる。 5) 喫緊の課題である SSA、STM に関するルールメイキングは業界やフォーラム等で先に行われ、国連が追認するような形になる可能性があることも想定される。 6) 宇宙環境問題に関する議論の中では、“Dark and quiet sky with large constellation”が特に大きな話題となった。これは大規模コンステレーションが可視・電波天文観測の大きな障害になっていることに起因するテーマであり、今後も議論は続くと考えられる。

表 3.1.5 STM 2024 での調査概要

会議目的	STM に関する研究成果発表および議論
本事業との関連	STM に関する情報収集、ならびに、SSR 関係者との意見交換
宇宙環境保全の国際ルールメイキングに関する特記事項	1) Daniel Oltrogge 氏 (COMSPOC Corporation) が招待講演“Featured Presentation: Contrasting the Inflection Points in Space Traffic Coordination and Management”を行った。 2) “Spaceport Issues and Challenges”セッションでは、各宇宙港の準備状況に関する現在の状況が紹介され、今日宇宙港が直面している課題についての議論がなされた。 3) “Commercial Solutions for Space Situational Awareness”セッションでは SSA の各民間組織の活動状況が紹介された。諸外国では民間 SSA に関する起業が活況を呈している。 4) “Legal Perspectives in a Changing Environment”セッションでは、リスク対策、アクセス性の向上、宇宙の持続性対策の変化が法的環境にどのような影響をもたらすかについて議論、特に、世界の国家規制の多様性、可能性、他の環境に対する軌道離脱とデブリ軽減の影響、ガバナンス、STM と有人宇宙飛行の課題について議論がなされた。 5) “Different Perspectives on Space National Security”セッションでは、商業宇宙資産の役割と宇宙外交と安全保障について議論がなされた。特に、安全保障のためには、セキュリティの確保も重要だが、透明性（相手国に不信感を持たせないこと）も必要であり、このバランスをどのようにとりかが重要である、といった議論がなされた。 6) “Space Launch Air and Sea Integration”セッションでは、打ち上げ及び宇宙機の再突入は空域（航空）だけでなく、海上活動にも影響を与えることや、AIS 情報と STM 情報の連携といったことについて議論された。 7) “Precision and Accuracy in the Evolution of STM”セッションでは、STM ために必要な技術に関する議論。衛星破砕モデルの実験データとレーダー観測との比較、物体識別と軌道精度等の研究が紹介された。 8) “Business Perspectives in a Changing Space Domain”では宇宙における持続可能な行動に対するインセンティブの必要性に対する議論がなされ、SSR 協会も参加した。SSR 協会以外にも、宇宙の持続可能性評価のためのインセンティブ付与についての提案を強調する組織がみられた。

3.2. SSR の最新動向

SSR 協会とは、オンラインでの議論の他に、前節でも示した通り、いくつかの国際会議の際にも対面で議論している。加えて、2023 年 10 月 2 日～6 日にバクー（アゼルバイジャン）にて開催された IAC（国際宇宙会議）でも議論を行った。そして、2024 年 2 月にも EPFL を訪問し、SSR 協会関係者と議論を行った。それらを通じて、以下の情報を得た。

- 1) 2024 年 2 月末時点で、複数の衛星事業者の格付け認証を完了しており、コンステレーション事業者とも調整を進めている。
- 2) ESA は、2030 年までにスペースデブリの発生を防止するゼロ・デブリ・アプローチを実施することを謳ったゼロ・デブリ憲章^[20]を 2023 年に発表した。この中には、“Foster the development of relevant technologies and performance indicators that uphold the guiding principles and support the achievement of the targets”（この指針（ゼロ・デブリ・アプローチ）を支持し、目標達成を支援する関連技術および実行指標の開発を促進する）と謳われている。SSR はこの“performance indicators”の一つと成りえると SSR 協会は考えており、EU 議会で SSR に関するプレゼンを行っている。
- 3) 2024 年 7 月 11 日～12 日に東京で内閣府と Secure World Foundation (SWF) が共催予定の“6th Summit for Space Sustainability”（<https://www.swfsummit.org/>）にて、SSR に関するイベントを SWF と調整中である。

3.3. 有識者へのヒアリング等による最新動向の識別

本調査研究では、宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングに関する最新動向について、海外有識者のヒアリングを行うとともに、宇宙産業振興の観点で、宇宙保険の関係者のヒアリングを行った。その結果のポイントを表 3.3.1 に示す。この表に示す通り、現時点で宇宙環境保全に関する有力な国際ルールが作られるであろう確かな予兆は確認できなかったが、SSR 以外のルールとして、英国基準協会（BSI）に

よるカイトマーク（Kitemark）認証に関する情報が得られた。また、SSR のようなインセンティブを与える仕組みに対する意見を得た。

表 3.3.1 有識者ヒアリング結果のポイント

有識者 1（UNCOPUOS STSC 関係者、海外大学教授）	- 宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングについては、LTS2.0 がベースとなると考えられるが、現時点では LTS1.0 の実装が最優先であり、LTS2.0 については広範囲にわたる項目が示されているものの、議論はまだ整理されていない。 - 宇宙環境保全にインセンティブを与える取り組みは高く評価でき、取り組み側から協力要請があれば協力する考えはある（なお、同教授は国連・IADC 等で発言力が強い）。今のところ、SSR 協会も含め、協力要請はない。
有識者 2（ESA デブリオフィス）	- ESA はセンチネル衛星で「SSR 格付け認証」を取得する予定である。 - ESA の衛星が格付け認証を取得することは、格付け側の「Show Case」として有効であると認識している。 - SSR のような格付け認証を取得するか否かは各プロジェクトの判断にはなるが、デブリオフィスとしては SSR については推奨していきたいと考えている。
有識者 3（宇宙環境保全、特に、DIT の専門家、海外大学准教授）	- 宇宙環境保全活動を定量的に評価するには、“Space Capacity”を明確に定義する必要があるが、現状は議論途上である。 - SSR については、“Space Capacity”の定義があいまいなものと、2.2.2d)項（8 頁）でも示した通り、モジュールの点数配分が実態と合っていないことの 2 点を認識している。
有識者 4（国内宇宙保険関係者）	- 宇宙環境保全に関しては、デブリによる宇宙機の不具合に対する保険という観点で宇宙保険と関連があるが、デブリが原因で保険を払った例はこれまで数件しかなく、しかも、本当にデブリが原因であったのかの確証は得られていない状況である。 - 中長期的にはデブリ問題は保険と結びつきそうだが、現状は特にない。 - 衛星運用者は規制強化につながるルールにはネガティブ。格付け認証のようにコストを伴うものも同様である。コスト増については大学等のアカデミアも同様である。 - 英国では BSI（英国規格協会）の Kitemark 認証で宇宙活動の認証評価を行おうとしている。保険業界は様子見の段階であるが、宇宙環境保全活動の格付け認証をするのであれば、Kitemark のような公的な認証がよいのではないか。 - 宇宙環境保全に関するルールメイキングについては、まだ各国とも議論の途中であり、必ずしも日本が遅れているということはないのではないかと。SSR も Kitemark もまだ適用している衛星は少ないはず。 - ただし、イギリスはこれまで、宇宙保険をリードしてきており、いま、国際的に通用するようなルールを作り始めている。 - イギリス政府は 5、6 年前から宇宙ビジネスに力を入れ始めており、イギリスの宇宙関連企業と他国の企業とのマッチングを行うような会議も主催している。
有識者 5（国内宇宙保険関係者）	- 宇宙の場合、現状では「罰則」は規定しても強制力はない。一方で、宇宙環境保全活動に「インセンティブ」を与えるようなルールができたとしても、インセンティブに「（保険）優待ありき」はバランスを欠く。本当によければ普及していくはず。例えば、紛争国から材料を調達していない等は、適切な行動として評価されるであろう。 - 宇宙環境保全に関するルールは、宇宙新興国やアジア太平洋域でのコンサンスがとれるようなものでないと普及しないであろう。 - 衛星の保険レートの設定には適切なリスク評価が必要である。衛星のリスク評価については欧州が進んでいる。 - 保険業界は、通信衛星のための保険には慣れているが、他の衛星についてはこれから。「信頼性・品質保証」が重要なファクターとなる。 - ニュースペース企業が自身の衛星に保険をかけることが主流になるとは考えにくく、現時点では、ニュースペースには「保険」以外のサービスで支援できないかを検討している。例えば、① リスク対策支援コンサルティング、② リスクアセスメント、③ 宇宙テクニカル（ビジネス）アセスメントといった、コンサルタント事業が考えられる。

3.4. 宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの最新動向の整理

3.1 節および 3.2 節に示した最新動向のポイントは以下のように整理できる。これらの動向は今後も注視していくべきであろう。

- a) 宇宙環境保全に関する国際ルールについては、ガイドラインレベルの議論がなされている（LTS ガイドラインの改訂）他、STM の観点で議論がなされているものの、有力なもの（国際的にコンセンサスが得られているもの）は、現状では見当たらない。ただし、ESA がゼロ・デブリ・アプローチを発表したことに伴い、これに付随するルール形成を ESA が主導する可能性がある。また、英国では、BSI による Kitemark 認証の一つとして宇宙活動を認証評価し始めている。宇宙環境保全活動に認証等のインセンティブを与えるルール作りには肯定的な意見が多いことから、今後、他にもインセンティブ付与に関する提案が出てくる可能性がある。
- b) SSA、STM についても、国際ルールやガイドラインの制定に肯定的な意見が多いものの、各国の国内法に取り入れられない限り、実効性が伴わないのではないかという意見も多い。
- c) FCC による、低軌道衛星の廃棄に係る 25 年ルールを 5 年に短縮化しようという、いわゆる「5 年ルール」は、短期的（20～30 年程度）にデブリ削減効果はあっても長期的には大きな差異は無いことが示されているが、民間 SSA 事業者からは「短期的に効果があるならば、5 年ルールを促進すべきである」との意見も出されている。「5 年ルール」による衛星の Replace 機会の増加は、民間 SSA 事業者にとって、自社のデータ利用ニーズに直結するものであり、民間 SSA 産業の振興につながる。
- d) 打上げ機の製造に伴う地球環境への影響を評価する手法、特に、特に、ロケット製造工程からの CO2 排出量評価方法の研究が進んでいる。その研究成果は打ち上げ機の宇宙環境保全性評価のルールメイキングに用いられる可能性がある。
- e) この他、ルールメイキングの基礎となる学術理論については、例えば、地球温暖化に伴う熱圏大気の冷却化によるデブリの軌道寿命の増加についての研究、従来の衛星破砕モデルの改良の必要性を示唆する観測結果などが示されている。さらには NASA のデブリ環境モデル（ORDEM）のアップデートなどがなされている。ODEM のアップデートに伴い、国内での JAXA 所有ツール等の改修が必要となると考えられ、国内への影響も大きいと想定される。
- f) 今後、宇宙環境保全に関する新たな国際ルールが作られるとしたら、LTS ガイドラインがそのベース要求となる可能性が高いが、現状は、ガイドラインの普及（より多くの宇宙機開発・運用への実装）が課題であり、新たなルールづくりまでは議論が進んでいないと見受けられる。
- g) また、新たなルールの策定やガイドライン類の改訂の際には“Space Capacity”の概念が導入される可能性が高いが、その定義は未だ明確ではない。ただし、その概念自体は欧州を中心に受け入れられており、今後も議論が続けられると考えられる。
- h) また、オーストラリア宇宙機関では宇宙活動の環境への影響を総合的に評価する研究を開始しており、その中には、衛星再突入&ロケット打ち上げに伴うアルミナの発生がオゾン層破壊に及ぼす影響の研究も含まれている。低軌道における大規模コンステレーションにより、衛星再突入に伴うアルミナの発生が宇宙環境に与える影響は無視できないものとなる可能性がある。
- i) 実際、大規模コンステレーション等が増え、打ち上げ機数・再突入機数が飛躍的に増えることから「地球（大気）環境の影響」を研究すべきとの議論がなされており、今後、宇宙分野においても産業活動によって生じる「環境負荷」を宇宙企業は考慮すべき時代になることが予想される。

また、ルールメイキングに伴う民間事業の創出については、以下のように整理できる。

- j) ESA がゼロ・デブリ・アプローチを発表したことで、ADR 企業のビジネスが拡大する可能性がある。また、このアプローチに資する宇宙環境保全活動を衛星事業者が実施するためのコンサルティング事業も創出・拡大する可能性がある。
- k) 一方で、デブリ問題は短期的には保険とは結び付きにくいと予想される。また、格付け等のインセンティブを与えるアプローチに関しても、格付けを得るためのコストを考慮すると、広く普及する段階ではないと考えられる。ただし、中期的には保険やインセンティブの普及はあり得ると考えられる。

4. SSR 及び宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの最新動向が我が国企業や政策に与え得る影響度の分析

本章では、3 章に示した国際ルールメイキングの最新動向が果たして我が国の企業や政策にどの程度の影響を与えるものなのかを分析する。

4.1. 最新動向の影響度の分析

前章までに示した国際ルールメイキングの最新動向の整理結果を踏まえ、以下の①～⑩に、個々の最新動向が我が国の企業や政策に与える影響を示す。なお、①～⑤ではルールメイキングの動向そのものを、⑥～⑩ではルールメイキングの基盤となる技術に関する動向をピックアップしている。

① ESA によるゼロ・デブリ・アプローチの推進

ゼロ・デブリ・アプローチでは、2030 年までにデブリ増加量を 0 にすることを目標としているため、ESA、あるいは EU の支援により、ADR 企業のビジネスチャンスが増えることが予想される。我が国の企業がそこに直接参入することは容易ではないと考えられるが、欧州企業と協働する（欧州企業から受注する）ことで、間接的に参入することは可能であると考えられる。また、ゼロ・デブリ・アプローチに沿った宇宙環境保全活動が企業に期待されることから、そのような活動を支援するコンサルティング企業のビジネスチャンスも拡大すると予想される（実際、SSR 協会はこのコンサルティング業務を請け負うことを考えている）。このように、ESA のこの動きは、欧州を相手に宇宙ビジネスを拡大したい我が国企業に対して少なからず影響を及ぼすと考えられる。

また、ESA のこの動きが我が国の政策に直接影響を与えるものではないと考えられるが、これを機会に宇宙環境保全に対する国内外の世論がどう動いていくのか、動かないのか、については注視しておく必要があるだろう。

② BSI による Kitemark 認証

現状では Kitemark 認証の有無がビジネスに影響を与えている事例は見当たらず、BSI も特に宇宙関係者に対して認証の取得を強く推奨する動きもないことから、我が国企業に与える影響は短期的には小さいと考えられる。ただし、このように宇宙環境保全活動に対してインセンティブを与える動きは今後、増えていくと考えられ、中長期的には、他分野と同様、認証を取得していない企業が受注しにくくなる等の影響が出てくる可能性は否定できない。このため、インセンティブを与える動きについては今後も目を配る必要があるだろう。

また、そのような影響が出てくる予兆が見えてきた段階になると、我が国企業の認証取得を推奨／支援するような政策が求められる可能性がでてくるだろう。

③ FCC による 5 年ルール

既に 2022 年には SpaceX 社の打ち上げ機 Falcon9 のユーザーズマニュアルに、原則として 5 年ルールを守る宇宙機のみを搭載する旨の記載が追記されており、我が国の衛星事業者にも少なからず影響は出ているといえるものの、これに追随する他国のルール／ガイドライン変更の動きは見受けられず、現状では我が国企業に与える影響は小さい。

ただし、今後、5 年ルールが広く適用されるようになると、これまでデオービット装置を搭載する必要のなかった超小型衛星の多くが搭載を余儀なくされるので、事業者には不利であるという考え方もある。逆に、デオービット装置の供給企業にとって、ビジネスチャンスの増加が見込める。また、不具合衛星への対応という点で、SSA 企業や ADR 企業にとっても、ビジネスチャンスの増加につながる可能性がある。実際、我が国にはデオービット装置や ADR に関連した技術を有する企業が多く、それらの企業にとっては 5 年ルールが追い風となりえる。いずれにしても、5 年ルールが適用されるようになると、我が国企業に与える影響は大きくなる。

④ LTS ガイドラインの実装

LTS ガイドライン自体は衛星事業者に特に厳しい規制をかけるものではなく、宇宙活動法を遵守していれば、特に問題はない。その意味で、我が国企業に与える影響は小さい。

⑤ SSR の普及

SSR は未だ普及しておらず、現時点で SSR が我が国企業に与える影響は小さいが、SSR の格付け方法には技術課題が残っており、また、技術情報を SSR 協会に提出する必要があることも考えると、SSR が普及した場合には、我が国企業にとって、必ずしもよいことにはならない可能性もある。したがって、今後も SSR の動向は押さえておく必要があり、普及状況によっては、SSR 協会に改善案を適宜提示していくことも必要かもしれない。

また、SSR は、宇宙環境保全活動の 1 つであって、フォーラム標準であることから、SSR 自体が政策に与える影響は小さいと考えられるが、宇宙環境保全の推進自体は我が国にとって重要な政策課題の 1 つであり、SSR が普及してきた場合には、SSR の格付け内容が我が国企業に不利にならないよう、政策による対応が必要となる可能性はある。

⑥ 打上げ機の製造に伴う地球環境への影響を評価する手法（特に、ロケット製造工程からの CO2 排出量評価方法）の研究の発展

この研究の内容によっては、我が国の打ち上げ機供給企業にとって不利になる可能性があり、そうなった場合には、この研究の発展がそういった企業に与える影響は大きい。したがって、打ち上げ機が地球／宇宙環境に与える影響に関する研究は今後も注視していく必要があるだろう。

⑦ NASA のデブリ環境モデル（ORDEM）のアップデート

ORDEM を利用してデブリの影響を評価するようなツールを開発している企業・大学・宇宙機関等には、ツールのアップデートを余儀なくされるという点で、影響があるだろう。

⑧ Space Capacity の定量的な定義に関する議論の発展

Space Capacity の概念は STM を含め、多くの宇宙環境保全活動のベースとなりつつある概念であり、今後、宇宙環境保全に関するルールメイキングに与える影響は大きい。したがって、宇宙環境保全活動が進んでいくと、我が国を含む多くの企業に与える影響も大きくなる。実際、現時点では、我が国に大規模コンステレーション事業者はいないが、今後、そういった企業が出現・増加してくると、Space Capacity の定義の内容によっては事業に不利になる可能性もある。したがって、Space Capacity の定義に関する議論は今後も注視していく必要があるだろう。あるいは、我が国が Space Capacity の定義を提案することも考えられる。

⑨ 保険におけるデブリ対策の考慮（宇宙環境保全に資する設計・運用の考慮）

現時点では、デブリ対策等、衛星事業者による宇宙環境保全活動が保険料の引き下げ等、保険にあたえる影響はないといってよい。これも他の項目と同様に、社会全体が宇宙環境保全活動の重要性をどのくらい認識するかに影響度は依存する。

⑩ SSR の技術的課題の解決

これが我が国企業に与える影響度は、SSR の普及度合いに依存するが、少なくとも、これまで通り、SSR が普及していく可能性の有無を見極めつつ、SSR の科学的・技術的課題を解決の方向に導く作業をすることは、我が国企業にとってネガティブなことにはならない。

5. 宇宙環境保全に関する国際ルールに対して我が国が取るべき戦略の検討

前章までの調査結果を踏まえ、本章では宇宙環境保全に関する国際ルール形成に向けて我が国がとるべき戦略を検討する。

5.1. 我が国が宇宙環境保全のルール形成を先導し国際競争力を確保するための戦略案の検討

前章までに、SSR 及び宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの最新動向を調査・分析してきた。これに加えて、本事業では、法制面の観点からルールメイキングについて分析を行った。ここではまず、5.1.1 項にてその分析結果をまとめ、これと前章までの分析結果を合わせて、5.1.2 項では宇宙環境保全に関する国際ルールに対して我が国が取るべき戦略の案を検討する。

5.1.1. SSR 及び宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの法制面からの分析（まとめ）

我が国がとるべき戦略は、「科学的・技術的に妥当とのコンセンサスが得られるような宇宙環境保全の国際ルールを推進すること」であると考えられる。そこで、この観点で、既に国際的な枠組として立ち上げられ、始動している SSR をルールの内容が我が国の宇宙技術にとって有利・不利・中立的のいずれにあたるかという評価の問題と、枠組が国際的に成功するか不成功に終わるかの見通しの問題とから分析した。

(1) SSR が普及し、かつ、我が国に不利益がある場合

SSR の活動に対して積極的に関与し、そのルールのうち我が国にとって不利益となる部分が修正されるように働きかけていくことが、我が国として最善の戦略となる。

(2) SSR が普及し、かつ、我が国に不利益がない場合

宇宙環境保全の実現という政策目標に照らすと、SSR の活動に対して積極的に参画することが我が国の目標に合致すると考えられる。

(3) SSR が普及せず、かつ、我が国に不利益がある場合

代わるルールを積極的に提示する必要があると考えられる（代替的なルールと SSR に適用されるルールとを比較し、SSR が普及しなかった理由はその相違点にあると指摘することができれば、我が国に不利益な SSR のルールの影響力を消すことができるであろう）。

(4) SSR が普及せず、かつ、我が国に不利益がない場合

特段の関与をしないことが最適な戦略であると考えられる。

次に、宇宙環境保全活動にインセンティブを与える格付け認証の経済効果について分析した。

(1) 保険料コストへの影響

第三者損害賠償保険（TPL、宇宙物体の運用やその打上げに当たり第三者に対して損害を発生させた場合に、損害賠償責任の発生を保険事故として、支払った賠償金額を填補する保険）の場合、保険により担保される危険の主要なものは、宇宙物体から発生したデブリが他の宇宙物体に衝突すること等により発生する損害賠償責任である。従って、デブリを発生させる可能性が小さい宇宙物体は危険が小さいと言える。格付けがデブリを発生させる確率を正しく評価するものであれば、それが危険の大きさを表す指標とされて、格付けの取得によって保険料が低減するという効果が期待できる。ただし、軌道上での TPL 保険は、我が国の宇宙活動法でも義務づけられていない（静止衛星を多く運用してきた欧米の大手オペレータは軌道上の TPL 保険を付保していると言われる）。今後、急速に発展すると見込まれる低軌道のコンステレーション等において、軌道上 TPL 保険の付保が一般化するかな否かによって、格付けの経済効果の有無が決まると予想される。

(2) 宇宙企業の社会的責任

新興のメガコンステレーション事業者は、デブリ発生の抑制を主要な CSR 活動（CSR: corporate social responsibility）として格付け結果を位置づける可能性がある。これは、事業者は、宇宙の利用可能性に大きな悪影響を与えたというネガティブな評価を避けたいと考えている可能性があるからである。ただし、他の格付け等の仕組みよりも宇宙環境保全に対する配慮の証明として有効であると認識された場合に限る。

また、ESG（environment, social and governance）の考え方（特に環境問題）の中に宇宙環境を含むという認識が社会一般に確立した場合、格付けを得ていることが ESG に対する積極的な取り組みとして認められ、資本市場や金融市場で、たとえば「ESG 銘柄（グリーン銘柄）」として投資信託の商品に加えられるなど ESG 投融資の対象となる可能性はある。この効果はスタートアップや新興企業よりも既存の宇宙企業（オールド・スペース）について、より顕著に表れると予想される。

(3) 各国の宇宙活動法への取り組み

一般に、格付け審査によって評価される内容と各国の宇宙活動法とは実質的に重複する部分があると考えられる。実際、SSR と我が国の宇宙活動法の場合には、表 2.2.8 に示した通り、重複する部分は少なくなかった。そこで、格付けを行う団体（SSR の場合でいえば、SSR 協会）が各国の当局による審査の一部を代行し、一定以上の格付けを取得すると、当該国の宇宙活動法の許可基準を満たしたものとするという扱いを導入することも考えられる。

以上のような分析の結果から、SSR に対して我が国として取るべき戦略としては、SSR のルールのうち我が国にとって不利益な部分を是正し、解消することが最も重要であると考えられる。次に、SSR に対する戦略を政策的なアプローチに落とし込むために、その「SSR に対する関与」と「SSR 以外の枠組への関与」の双方を検討した。

まず、SSR への関与（我が国の民間主体が SSR になんらかに関与し、国は必要であればそれを支援する）については、2つの関与が考えられる。すなわち、

(1) 宇宙環境保全活動の拠点形成

とるべき戦略のうち最も重要な部分が、SSR のルールの中で我が国にとって不利益なものを是正していくという点にあるのであれば、SSR 協会に対して強い発言権を持つ必要がある。そのためには、我が国に、SSR 協会に相当する組織を形成し、そこをよりどころとしてルールの内容を対等に議論する体制をつくることが考えられる。ただし、SSR は宇宙環境保全活動のごく一部であり、我が国としては、宇宙環境保全活動全体を取り扱う組織を形成し、その中に SSR を扱う部署を置くことがよいと考えられる。

(2) 我が国の事業者による SSR の受審

格付けの取得を促進することにより、我が国の事業者の間にも宇宙環境保全に対する問題意識を高め、またそうした姿勢を国際的にアピールする効果も期待することができる。

また、格付けを取得した宇宙企業が、その対象となる宇宙物体について TPL 保険を付保する場合に、格付けに応じて保険料を割引いた保険会社に対して、割引料相当額は費用として控除を認めるという租税特別措置を導入するという政策もあり得るかもしれない。そのような仕組みを利用して、格付けを取得した宇宙事業者に対する保険料の割引という実務が定着すれば、SSR の普及を促進する効果も期待される。

一方で、SSR が国際的に普及するか否かが不明確な状況において、我が国（の宇宙産業関係者）が SSR のみにコミットすることは、戦略として合理的ではない。特に、SSR に適用されるルールの内容に、科学的・技術的に妥当であるとの国際的コンセンサスが必ずしも得られているとはいえないものが含まれていることを考えると、SSR 以外の枠組に対しても一定の関与を行い、SSR に偏ることなく、ニュートラルに進めていく必要になると思われる。そして、少なくとも中期的には、わが国が主導権を持って宇宙環境保全に関する独自の枠組みを構築することが政策的な選択肢として検討される必要があるだろう。そうした独自の枠組みを構築するためにも、アジア太平洋地域と連携した組織を拠点とし、わが国がこの地域で蓄積してきたリソースを活用することが有効である。

5.1.2. 我が国が取るべき戦略の検討

以上より、我が国が取るべき当面の戦略としては、以下の(1)～(5)が考えられる。なお、(1)の体制が整備されるまで待つことなく、現状の体制のままで(2)～(5)を実行する必要があると考えられる。

(1) 我が国における宇宙環境保全全般に関する戦略を検討する体制の整備

STM の議論や LTS ガイドラインの実装・改訂等を含め、宇宙環境保全に関する取り組みが盛んになってきている状況、ならびに、そのような状況においても、未だ国際的なコンセンサスが得られている状態には至っていないことを考慮すると、今、わが国が宇宙環境保全全般に関する戦略を検討する体制を整備することが必要かつ最良のタイミングであると考えられる。

そして、その体制の下でつくった全体戦略をもって、SSR も含めた個々の動向に対処することができれば、今後、宇宙環境保全活動の国際ルールメイキングを我が国がリードする、あるいはリードする枠組みに加わることも可能になると考えられる。そうなれば、我が国（の企業）にとって、有利なルール

メイキングも可能となるであろう。そうなれば、この体制が、宇宙環境保全に関する国際的（地域的）拠点として機能するようになるだろう。

(2) 宇宙環境保全に関する国際ルールメイキングの動向調査の継続

宇宙環境保全に関する取り組みが盛んになってきている状況であることから、今後も、ESA のゼロ・デブリ・アプローチや BSI の Kitemark 認証のような、新たなルールやガイドライン、あるいは、それらを策定するための枠組み等が発表される可能性があり、かつ、それらの中から国際的に普及するものが出てくる可能性がある。そういった動きを見逃さないためにも、動向調査は今後も継続していくべきである。

(3) SSR への対応

前項でも述べた通り、SSR が普及するか否か、SSR が我が国に不利益なルールを含むか否かで、我が国が取るべき対応は異なる（必ずしも無視してよいという訳ではない）。したがって、次の 2 点を実施すべきと考えられる。

1) SSR の普及の見通しの分析

SSR に対してどのような対応をするかを決定するためには、上述の通り、SSR が普及するか否かを見極めることが必要である。実際、2022 年 6 月の SSR の正式稼働以来、既に 2 年近くが経っており、見極めが可能な段階に至りつつあると考えられる。

2) SSR を我が国にとって不利とならず、かつ、科学的・技術的に適切なルールに改善する努力の継続

SSR には未だ科学的・技術的課題が残っていると考えられ、その中には我が国の企業にとって不利なものも含まれている。したがって、SSR 協会に対して根気よく改善提案をしていくことが肝要である。

(4) 宇宙環境保全活動にインセンティブを付与する取り組みの調査・分析と対応

宇宙環境保全活動にインセンティブを付与することは、多くの宇宙環境保全活動関係者から肯定的に受け止められている。したがって、インセンティブを付与する取り組みの中で、優れたもの（国際的にコンセンサスが得られやすいもので、かつ、持続性の高い取り組み）が提案されると、それが普及する可能性が高い。

それゆえ、そういった取り組みの調査を継続し、分析した上で、そういった取り組みに適切に対応することが肝要である。

(5) 国際的なイベントの有効活用

我が国の宇宙環境保全に対する取り組みを世界に認知させ、国際ルールメイキングにおいて優位な立場を築いていくために、国際的なイベントを活用することが考えられる。具体的には次の 2 つのイベントの活用が考えられる。

1) The Summit for Space Sustainability（2024 年 7 月に東京で開催）

内閣府と SWF が主催する「宇宙サステナビリティサミット」（The Summit for Space Sustainability）が、2024 年度は東京で開催される。宇宙環境保全の分野で大きな実績を持つ SWF は、一貫して SSR の取組を支持してきている。また、このサミットを東京で開催することは、わが国の宇宙産業界が組織するイベント SPACE TIDE のサイドイベントとして招致したものであり、宇宙環境保全に関するわが国の取組をグローバルにアピールするための絶好の機会である。

2) APRSAF（2024 年 11 月に豪州で開催）

JAXA がリーダーシップを発揮して継続してきた APRSAF の 30 周年を記念するこの機会に、わが国としての宇宙環境保全に対する立場を示すことは、きわめて重要なことであると考えられる。そこで、この機会に、「宇宙環境保全に関する国際的拠点」の形成を周知することが有用である。

参考文献

以下、ウェブサイトの最終閲覧日は 2024 年 2 月 29 日である。

- [1] Space Sustainability Rating, “Our history”, URL: <https://spacesustainabilityrating.org/about-us-our-history/>.
- [2] Francesca Letizia, Camilla Colombo, Hugh G. Lewis, Holger Krag, Assessment of breakup severity on operational satellites, *Advances in Space Research*, Vol. 58, pp.1255-1274, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2016.05.036>
- [3] IADC, IADC Space Debris Mitigation Guidelines (Revision 2), IADC-02-01, March 2020.
- [4] United Nations Office, Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 22 December 2007.
URL: <https://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/COPUOS-GuidelinesE.pdf>
- [5] ISO 24113 2019, Space Debris Mitigation Requirements (Edition 3), 1 July 2019. URL: <https://www.iso.org/standard/72383.html>
- [6] UNCOPUOS, The Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities, February 2021. URL: https://spacesustainability.unoosa.org/content/the_guidelines
- [7] IADC, IADC Space Debris Mitigation Guidelines (Revision 3), IADC-02-01, 23 June 2021. URL: https://iadc-home.org/documents_public/view/page/2/id/172#u
- [8] ISO 24113 2019, Space Debris Mitigation Requirements (Edition 4), 1 May 2023. URL: <https://www.iso.org/standard/83494.html>
- [9] NASA-STD-8719.14C, Process for Limiting Orbital Debris, 5 November 2021. URL: <https://standards.nasa.gov/sites/default/files/standards/NASA/C/0/nasa-std-871914c.pdf>
- [10] U.S., U.S. Government Orbital Debris Mitigation Standard Practices, November 2019. URL: https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/usg_orbital_debris_mitigation_standard_practices_november_2019.pdf
- [11] ASI, BSC, CNES, DLR, ESA, European Code of Conduct for Space Debris Mitigation, Issue 1.0, 28 June 2004. URL: <https://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/2004-B5-10.pdf>
- [12] JAXA-JMR-003E: Space Debris Mitigation Standard, 27 April 2023. URL: <https://sma.jaxa.jp/TechDoc/Docs/JAXA-JMR-003E.pdf>
- [13] National Standard on the Russian Federation, General Requirements on Space Systems for the Mitigation of Human-Produced near-Earth Space Pollution, 2009.
- [14] ESA Director General’s Office, ESA Space Debris Mitigation Policy, 3 November 2023. URL: <https://technology.esa.int/upload/media/ESA-ADMIN-IPOL-2023-1-Space-Debris-Mitigation-Policy-Final.pdf>
- [15] Space Safety Coalition, Best Practices for the Sustainability of Space Operations (version 2.35), November 2023. URL: <https://spacesafety.org/best-practices/>
- [16] ESA, ESA’s Annual Space Environment Report, 23 September 2023.
URL: https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf
- [17] Adrien Saada, Emmanuelle David, et.al., The Space Sustainability Rating: An operational process incentivizing operators to implement sustainable design and operation practices, IAC-22, A6.8-F9.1, 73rd IAC, Paris, 18-22 September 2022.
- [18] 内閣府宇宙開発戦略推進事務局, 人工衛星の管理に係る許可に関するガイドライン（改訂第 2.1 版）, 2022 年 5 月 30 日.
URL: https://www8.cao.go.jp/space/application/space_activity/documents/guideline4_2205.pdf
- [19] Cabinet Office National Space Policy Secretariat, Guidelines on Permission Related to Launching of Spacecraft, etc. URL: <https://www8.cao.go.jp/space/english/activity/documents/guidelines1.pdf>
- [20] ESA, Zero Debris Charter, 2023.
URL: https://esoc.esa.int/sites/default/files/Zero_Debris_Charter_EN.pdf