

令和6年度国際ルール形成・市場創造型標準化推進事業費（ルール形成戦略に係る調査研究（宇宙環境保全のルール形成戦略に係る調査研究））

調査報告書

令和7年3月

学校法人 日本大学

令和6年度国際ルール形成・市場創造型標準化推進事業費（ルール形成戦略  
に係る調査研究（宇宙環境保全のルール形成戦略に係る調査研究））  
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の最新状況調査、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運営組織への参画による、情報交換、及び意見提示プロセスの確保	4
2.2. SSRの運営状況の調査、SSRの今後の普及見通しの分析	6
2.2.1. SSRの格付け認証の受審状況・取得状況の調査	6
2.2.2. SSR協会のSSR普及活動の調査	6
2.2.3. SSRの今後の普及見通しの分析	6
2.3. SSRに対する我が国として取るべき対応方針の検討	7
2.3.1. 他の標準・ルール等とSSRとの整合性、及び格付け内容の技術的妥当性の検証	7
2.3.2. 宇宙活動法に準拠した宇宙環境保全に係る新たな認証評価の可能性検討	9
2.3.3. 我が国が取るべき対応方針の提案	10
3. 宇宙環境保全に関する国際ルールの最新動向及び見通しに関する調査分析	12
3.1. 国際会議参加による国際ルールや関連するフレームワーク形成の最新動向調査	12
3.2. 有識者へのヒアリング等による国際ルールの最新動向の識別	13
3.2.1. 有識者に対するヒアリング	13
3.2.2. 英国の国際ルール戦略の現地調査	14
3.2.3. 文献等の調査結果	15
3.3. 今後の見通しの分析	17
3.3.1. 今後普及する可能性がある国際的な取組の分析	17
3.3.2. 我が国の政策や国内企業の活動に影響を与え得る国際的な取組の分析	17
4. SSR及び宇宙環境保全に関する国際ルールの最新動向及び見通しが我が国企業や政策に与え得る影響度の分析	19
4.1. 影響度の分析	19
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及び必要な検討・実行体制の検討	21
5.1. 戦略案の提示	21
5.1.1. 我が国が重点的に対応すべき国際ルールや領域等の識別	21
5.1.2. 識別した国際ルールや領域に対する戦略および具体的な対応策の提案	21
5.2. 検討・実施体制の提案	21
付 録 23	
A.1 海外動向調査概要	23
A.2 有識者ヒアリング概要	29
参考文献	33

# 図目次

図 2.1.1	SSR 協会の体制 .....	4
---------	-----------------	---

# 表目次

表 2.1.1	SSR の評価モジュールの概要 .....	5
表 2.1.2	SSR の格付けにおける各モジュールの重みづけ .....	5
表 2.1.3	SSR の格付け .....	5
表 2.1.4	SSR における技術情報の提示方法と評価係数 .....	5
表 2.2.1	SSR の 3 つの技術的課題 .....	7
表 2.3.1	デブリ低減に関する主なガイドライン等 .....	8
表 2.3.2	LTS ガイドラインと SSR の評価項目との対応関係 .....	8
表 2.3.3	SSR の評価項目と宇宙活動法のガイドラインとの対応関係 .....	10
表 2.3.4	SSR に対する我が国として取るべき対応方針の案 .....	11
表 3.1.1	国際会議参加による調査結果のサマリ .....	12
表 3.2.1	有識者ヒアリング結果のサマリ .....	13
表 3.2.2	民間、あるいは宇宙機関における最近の宇宙環境保全関連活動 .....	15
表 4.1.1	最近の国際機関等による宇宙環境保全関連のルールメイキングの動向の影響度 .....	19
表 4.1.2	近い将来、ルール形成がなされる可能性のある研究・開発分野とその影響度 .....	20
表 5.1.1	識別した研究・開発分野に対する戦略・対応策の案 .....	21
表 A.2.1	IAC2024 での調査概要 .....	23
表 A.2.2	IAA Space Debris and Sustainability Conference (SDS) での調査概要 .....	23
表 A.2.3	AGU2024 での調査概要 .....	24
表 A.2.4	CNES Workshop on End of Life Satellites and Sustainable Technologies での調査概要 .....	24
表 A.2.5	UNCOPUOS/STSC での調査概要 .....	25
表 A.2.6	有識者 A ヒアリング概要 .....	29
表 A.2.7	有識者 B ヒアリング概要 .....	30
表 A.2.8	有識者 C ヒアリング概要 .....	30
表 A.2.9	有識者 D ヒアリング概要 .....	31
表 A.2.10	有識者 E ヒアリング概要 .....	32

## 略 語

ADOS	Application of Design and Operation Standards (設計・運用標準の適用)
ADR	Active Debris Removal (積極的デブリ除去)
AGU	American Geophysical Union (アメリカ地球物理学連合)
APSCO	Asia-Pacific Space Cooperation Organization (アジア太平洋宇宙協力機構)
CNES	Centre national d'études spatiales (フランス国立宇宙研究センター)
CCSDS	Consultative Committee for Space Data Systems (宇宙データシステム諮問委員会)
CONFERS	Consortium for Execution of Rendezvous and Servicing Operations (ランデブ・サー・ビス運用実施のためのコンソーシアム)
CSpOC	Combined Space Operations Center (連合宇宙運用センター)
ECOB	Environmental Consequences of Orbital Breakups (軌道上破碎の環境への影響)
EOL	End of Life (人工衛星の運用終了後の状態)
EPFL	Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (スイス連邦工科大学ローザンヌ校)
eSpace	EPFL Space Center (EPFL 宇宙センター)
ESSI	Earth and Space Sustainability Initiative (地球と宇宙の持続可能性イニシアティブ)
FAA	Federation Aviation Administration (米国連邦航空局)
FCC	Federal Communications Commission (米国連邦通信委員会)
GSOA	Global Satellite Operators Association (グローバル衛星運用事業者協会)
IAA	International Academy of Astronautics (国際宇宙航行アカデミー)
IAC	International Astronautical Congress (国際宇宙会議)
IAU	International Astronomical Union (国際天文学連合)
ISON	International Scientific Optical Network (国際科学光学ネットワーク)
IISL	International Institute of Space Law (国際宇宙法学会)
LTS	Long-term sustainability of outer space activities (宇宙活動に関する長期持続可能性)
PIRG	The U.S. Public Interest Research Group (米国公共利益研究グループ)
PMD	Post Mission Disposal (ミッション終了後の人工衛星等の廃棄)
SPD3	SPD3-National Space Traffic Management Policy (宇宙政策大統領令 3 号)
SSA	Space Situational Awareness (宇宙状況監視)
SDS	本文献では、国際会議 IAA Space Debris and Sustainability Conference (国際宇宙航行アカデミー 宇宙ゴミと持続可能性に関する会議) を SDS と短縮表現している
SSR	Space Sustainability Rating (宇宙持続性に関する格付け)
STM	Space Traffic Management (宇宙交通管理)
STSC	Scientific and Technical Subcommittee (国連宇宙空間平和利用委員会の科学技術小委員会)
SWF	Secure World Foundation (米国セキュアワールド財団)
UKSA	United Kingdom Space Agency (英国宇宙局)
UNISPACE	United Nations Conference on Exploration and Peaceful Uses of Outer Space (国連宇宙平和利用会議)
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 (国連宇宙部)
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企業の追い風となることが期待される。

一方で、一部の国・企業が主導して認証ルールを形成していることから、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の最新状況の調査及び我が国宇宙産業振興の観点から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）その他の宇宙環境保全に関する国際ルールの最新動向及び見通しに関する調査分析を実施する。（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の最新動向、見通しが、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及び必要な検討・実行体制について検討し提言としてまとめる。

## 2. SSR の最新状況調査、及び我が国宇宙産業振興の観点から考慮した対応方針の検討

本報告書では、宇宙環境保全のルール形成戦略案を 5 章にて示すことになるが、それに先立って、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、最新の状況を報告するとともに、SSR への今後の対応案を示す。

### 2.1. SSR 運営組織への参画による、情報交換、及び意見提示プロセスの確保

SSR (Space Sustainability Rating) 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て格付けするフォーラム標準であり、宇宙環境保全に関する世界初の民間認証制度として、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 月にスタートした。そして、2023 年 1 月には eSpace 内に非営利法人 SSR Association（以下、SSR 協会）が設立され、以後、SSR 協会が SSR 運営組織となって、格付け認証が行われている<sup>14</sup>。SSR 協会の体制は図 2.1.1 の通りであり、格付け認証の枠組みをつくったメンバーが Steering Committee として SSR 協会をドライブしてきたが、枠組みが整ってきたこともあり、2024 年以降は EPFL が中心となって動いているように見受けられる。

なお、図 2.1.1 にある通り、SSR 協会内には Policy & Governance (WG1)、Technical (WG2)、Certification (WG3) の 3 つのワーキンググループが設置され、2023 年度までは会合を持っていたが、2024 年度には開催されていない。

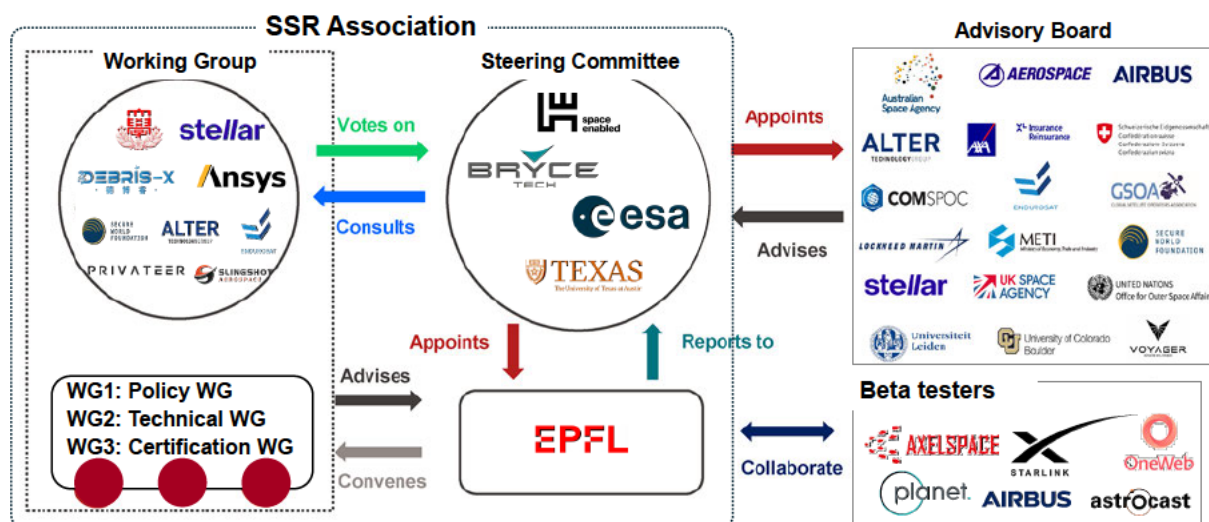


図 2.1.1 SSR 協会の体制

次節以降では、SSR の内容についても言及するため、以下に、SSR の格付けの概要を示す。まず、SSR では、表 2.1.1 に示す 6 つの評価モジュールを設定し、それぞれの評価項目について点数化し、表 2.1.2 に示す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、表 2.1.3 に示す通り、BRONZE、SILVER、GOLD、PLATINUM の 4 段階の格付けを行っている。その際、人工衛星に関する技術情報を SSR 協会に提出することになるが、情報の提示方法によって、表 2.1.4 の通りに評価点に係数をかけている。

表 2.1.1 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	1.1 ECOB (Environmental Consequences of Orbital Breakups) <sup>②</sup> 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)の評価
2	DIT (Detectability, Identification and Trackability)	2.1 検出性：光学的検出とレーダー検出による検出性解析 2.2 識別性：(スコアリングに陽には含まれていない) 2.3 追跡性：基準光学観測システム/追跡レーダースステムの使用を前提とした将来の軌道変化推定 2.4 衛星の特性評価 2.5 追跡オペレータのパフォーマンス評価
3	COLA (Collision Avoidance Capabilities)	3.1 軌道の状態把握 3.2 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 3.3 通常運用終了後の軌道情報の維持
4	Data Sharing (データ共有)	4.1 衝突回避調整情報の共有・更新 (連絡先情報等) 4.2 衛星測位情報の共有・更新 (天体歴やその誤差共分散等) 4.3 衛星特性情報の共有・更新 (質量、形状、マヌーバ能力等) 4.4 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) 4.5 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)	5.1 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 5.2 自主的に適用したガイドライン文書の有無 5.3 宇宙機/打上ロケットのデブリ放出有無 5.4 爆発確率の最小化 5.5 運用終了後の不活性化 5.6 宇宙機/ロケット上段の運用終了後の廃棄軌道投入有無 5.7 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)	6.1 軌道上サービス機能の実装設計 6.2 標準化インターフェースの組み込み 6.3 寿命延長サービスの利用/実証へのコミットメント 6.4 外部 ADR の利用/実証へのコミットメント

表 2.1.2 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 2.1.3 SSR の格付け





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

表 2.1.4 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. SSR の運営状況の調査、SSR の今後の普及見通しの分析

### 2.2.1. SSR の格付け認証の受審状況・取得状況の調査

SSR の格付け認証の受審状況・取得状況については、2024 年になって明らかになった。2025 年 1 月時点で認証を取得したのは OHB Sweden、Steller、TU Delft、Eutelsat/OneWeb の 4 者である。なお、SSR 協会のウェブサイトには最初の 3 者のみが公開されているが<sup>[3]</sup>、2024 年 7 月に東京にて内閣府と SWF（Secure World Foundation）が主催した 6th Summit for Space Sustainability にて、Eutelsat/OneWeb の衛星コンステレーションミッションが格付け最高位の Platinum 評価を受けた旨がアナウンスされ、認証の授与式が行われており<sup>[4]</sup>、宇宙環境保全関係者（各国政府関係者や企業、シンクタンク、研究者等）に認知されている。この他に 2024 年時点では受審ミッションが 1 つあるとしていたが、2025 年 1 月時点では取得したとの情報は得られていない。

なお、我が国の衛星関連企業については、SSR の認証事業が正式に開始される前に、βテストを受審した企業が 1 社あっただけで、受審予定の企業は今のところ見当たらない。

SSR 協会は、それまで、ESA、MIT、WEF、UT Austin、BryceTech 社の有志から成る steering committee が格付けの技術面に関してリードしてきたが、2024 年には Ambassadors という立場となり、運営自体は SSR 協会の代表・副代表を含む eSpace のメンバーが主導している。また、前節の通り、WG が最近では開催されていないなど、2023 年に SSR 協会を立ち上げた当時に比べて体制構築が落ち着き、定常的な認証活動および普及活動に移行した感はある。実際、2023 年までは技術担当者が eSpace 内にいたが、2024 年度になって、運営関係者は代表・副代表の他に 3 名（うち、1 名はインターン生）となっており、技術面を推進するメンバーは見当たらない。ただし、eSpace として、製造から打上げ・運用・廃棄（大気圏突入）に至るまでに人工衛星が環境に与える影響を評価する、Life Cycle Assessment を研究しており<sup>[5, 6]</sup>、今後、“Life Cycle Assessment Module”として、SSR の評価モジュールの一つに加えることを視野に入れているとのことである。

### 2.2.2. SSR 協会の SSR 普及活動の調査

前項の通り、現在、SSR 協会は大学研究機関である eSpace が主導しており、2024 年度の主な普及活動としては次の 3 つの学会活動があげられる。

- 1) IAC での” Sustainable Approaches and Impact of Space Transportation Solutions on Earth + Space Environment and on General Safety”セッションのオーガナイズ<sup>[7]</sup>（2024 年 11 月、ミラノ）
- 2) IAA（International Academy of Astronautics、国際宇宙航行アカデミー）と EPFL と香港大学との主催による国際会議” IAA Space Debris and Sustainability Conference”（以下、SDS）の開催<sup>[8]</sup>（2024 年 12 月、香港）
- 3) EPFL と Karman Project、ESA、MIT の共催によるワークショップ”Space Sustainability Course - how to design more sustainable missions?、”Space Sustainability: Bridging Initiatives and Perspectives”（2025 年 3 月、EPFL）<sup>[9]</sup>

これらに加えて、前項で述べた 2024 年 7 月の Eutelsat/OneWeb の認証授与式も、普及活動の一環としてとらえることができる。実際、衛星コンステレーション企業の代表格の 1 つである OneWeb（Eutelsat と合併済）が SSR の認証を取得したことは、一般的には宇宙環境保全にネガティブな影響を与えると考えられている衛星コンステレーションが高い評価を受けたという点も含めて、一定のインパクトを宇宙関係者に与えたといえる。

### 2.2.3. SSR の今後の普及見通しの分析

SSR に関しては、前項に示したような普及活動が行われているものの、国際会議 SDS（表 A.2.2 参照）では次の 2 点が問題点として指摘された。

- 1) 表 2.2.1 に示す 3 つの技術的課題がある
- 2) Mission Index モジュールは ECOB をベースとしているなど、ESA の研究成果に基づいている部分が多いが、ESA の関係する衛星は SSR の認証を受審・取得していない

国内外では、この 2 点が改善されない限り、SSR は普及しないであろうとの見方がある一方で、3.2 節で述べる通り、SSA（Space Situational Awareness）の専門家には、

- 3) DIT（Detectability, Identification and Trackability）モジュールの各評価項目は合理的で、今後、STM（Space Traffic Management、宇宙交通管理）を考える上で、参照され得るべきものであるといった意見もある（表 3.2.1）。このことから、上記 1) が解決されれば、3) と相まって、宇宙環境保全に資するよい前例（good practice）となり得ると考えられ、SSR 自体が普及しなくとも、SSR の考え方

や認証評価の枠組みが新たな別の認証評価等に受け継がれる可能性はある。実際、そのような意見は国際会議 SDS でも出ており、それを受けて、SSR 協会代表も、上記 1) の解決に前向きであり、2.1 節に示した意見提示プロセスを通じて、解決に向けて我が国の意見を受け入れる姿勢も確認できている。

ただし、3.2.1 項に示す通り、SSR のように既に構築・運営されている標準の内容を新規参加者が変更することは一般には難しく、その変更が自身のビジネスに大きな影響を与えるような企業など、強い動機を有する関係者が 1) の解決を SSR 協会とともに進めていくことが必須条件となる。

そして、1) に加えて 2) が解決されれば、すなわち、ESA が自身の関係する衛星（の一部）に SSR の認証取得を課すことになれば、SSR 自体が普及する可能性はあると考えられる。

表 2.2.1 SSR の 3 つの技術的課題

課題 1	6 つの評価モジュールの重みづけ（表 2.1.2）が適切とは言えない。実際、デブリ発生原因の割合 <sup>[10, 11]</sup> に対応していない。
課題 2	Mission Index モジュール <sup>[12]</sup> は未だ研究段階にあり、その定量化方法は国際的なコンセンサスが得られたものではない。
課題 3	ADOS モジュールにおける設計標準・ガイドラインへの適合性評価方法が妥当でない（例えば、粒度・階層の異なる設計標準・ガイドラインを同等に扱ったり、宇宙環境保全には直接的には関係のないガイドライン項目が適合性評価の対象になってしまっていたりするなど。また、固体ロケットからの排出物（スラグ）の影響をダブルカウントしているという点でも、固体ロケットを用いて打上げる人工衛星にとって非合理的な評価となっている）。

しかしながら、3.1 節に示す通り、欧州において宇宙環境保全に関する別の動きもあることや、民間における他の宇宙環境保全活動の good practice を整理しようとする動きもあることから、

- 上記 1)、すなわち、表 2.2.1 に示した課題が解決されない限り、SSR の普及は難しいと考えられる
- 既に SSR の認証が行われている中でこの課題を解決するには、解決に強い動機をもつ関係者（この課題の解決が自身のビジネスに深く関係する企業など）が必要である
- 逆にそれらの課題が解決されれば、SSR の考え方は今後、別のルールメイキングに役立てられる可能性は十分にある

と考えられる。

## 2.3. SSR に対する我が国として取るべき対応方針の検討

2.3.1 項および 2.3.2 項において、SSR の妥当性や SSR に代わる認証評価の可能性を確認した上で、前節までの結果も踏まえ、2.3.3 項にて、SSR に対して我が国が取るべき対応方針の案を示す。

### 2.3.1. 他の標準・ルール等と SSR との整合性、及び格付け内容の技術的妥当性の検証

宇宙環境保全のキーとなるデブリ低減に関しては、表 2.3.1 に挙げるようなガイドラインが既に存在し、これらのうちのいくつかについては、そこに掲げられているデブリ低減策の比較が文献 11 に示されている。SSR の評価項目には、他の標準・ルール等と整合しないものは見当たらない。ただし、2.2.3 項でも述べた 3 つの技術的課題、すなわち、各評価項目の重みづけが適切とは言えないこと、Mission Index の技術的妥当性については国際的にコンセンサスが得られたものではないこと、そして、ADOS モジュールにおける設計標準・ガイドラインへの適合性評価方法が妥当でないことは、解決すべきと考えられる。実際、例えば、ADOS モジュールでは LTS ガイドライン<sup>[16]</sup>に適合しているか否かを自己申告することになっているが、LTS ガイドラインは、デブリ低減策にとどまらず、広く宇宙活動の長期的持続可能性に関するガイドラインを示しており、必ずしも宇宙ミッションの宇宙環境保全性の評価にはなじまない項目も含まれている。表 2.3.2 は、LTS ガイドラインの 21 の項目と、SSR の評価項目（表 2.1.1）、ならびに、宇宙機自身の環境対策との関連性を示したものであるが、この表からも、なじまない項目が含まれていることは明らかであろう。

表 2.3.1 デブリ低減に関する主なガイドライン等

No.	機関等	ガイドライン等
1	IADC	IADC-02-01: IADC Space Debris Mitigation Guidelines <sup>[13]</sup>
2	FCC	FCC 22-74, Mitigation of Orbital Debris in the New Space Age <sup>[14]</sup>
3	UN	Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space <sup>[15]</sup>
4	UN	LTS Guideline (The Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities) <sup>[16,17]</sup>
5	ISO	Space Debris Mitigation Requirements <sup>[18]</sup>
6	JAXA	JAXA-JMR-003E: Space Debris Mitigation Standard <sup>[19]</sup>
7	NASA	NASA-STD-8719.14C: Process for Limiting Orbital Debris <sup>[20]</sup>
8	U.S.	U.S. Government Orbital Debris Mitigation Standard Practices <sup>[21]</sup>
9	ESA	ESA Space Debris Mitigation Policy <sup>[22]</sup>
7	ESA	Zero Debris Charter <sup>[23]</sup> , Zero Debris Technical Booklet <sup>[24]</sup>
8	Italy, UK, France, Germany, ESA	European Code of Conduct for Space Debris Mitigation <sup>[25]</sup>
9	France	FSOA (French Space Operations Act) <sup>[26, 27]</sup>
10	Federal Space agency of Russia	General Requirements on Space Systems for the Mitigation of Human-Produced near-Earth Space Pollution <sup>[28,29]</sup>
11	Space Safety Coalition	Best Practices for the Sustainability of Space Operations <sup>[30]</sup>
12	FAA	Commercial Space Launch Activities <sup>[31]</sup>

表 2.3.2 LTS ガイドラインと SSR の評価項目との対応関係

LTS ガイドライン		SSR の評価項目との関連 (カッコ付きは関連性が強くはないもの)	宇宙機自身の環境対策との関連
A.1	宇宙活動に関する国内規制体系の必要に応じた採択, 改正及び修正		
A.2	宇宙活動に関する国内規制体系に関し, 必要に応じた策定, 改正または修正を行う際の複数要素の考慮		
A.3	国内宇宙活動の監督		
A.4	無線周波数スペクトルの公平, 合理的かつ効率的な使用及び衛星によって利用される様々な軌道領域の確保		
A.5	宇宙物体登録の実行強化	ADOS 5.7	○
B.1	更新された連絡先の提供及び宇宙物体と軌道上事象に関する情報の共有	Data Sharing 4.1, 4.5	○
B.2	宇宙物体の軌道データの精度向上並びに軌道情報の共有の実行及び実用性の強化	COLA 3.1, 3.3 Data Sharing 4.2	○
B.3	スペースデブリ監視情報の収集, 共有及び普及の促進		
B.4	制御飛行中の全軌道フェーズにおける接近解析の実行	(COLA 3.2)	○
B.5	打上げ前接近解析に向けた実用的な取組みの確立	(COLA 3.2)	○
B.6	有効な宇宙天気に関するデータ及び予報の共有		
B.7	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行の収集		
B.8	物理的及び運用面の特徴に関わらない宇宙物体の設計及び運用	(DIT 2.1, 2.3) (COLA 3.3) (ADOS 5.6)	○
B.9	宇宙物体の非制御再突入に伴うリスクを取り扱う対策		○
B.10	宇宙空間を通過するレーザービーム源を使用する際の予防策の遵守		
C.1	宇宙活動の長期的持続可能性を支える国際協力の促進		
C.2	宇宙活動の長期的持続可能性に関する経験の共有及び情報交換のための適切な新たな手続きの作成		
C.3	能力構築の促進及び支援		
C.4	宇宙活動の認知向上		
D.1	宇宙空間の持続可能な探査及び利用を支える方法の研究および開発の促進及び支援		
D.2	長期的なスペースデブリの数を管理するための新たな手法の探査及び検討	(Mission Index 1.1)	

また、我が国宇宙産業の振興という観点で SSR の評価項目を見てみると、表 2.2.1 に示した SSR の技術的課題にも関連し、以下の 2 点について、我が国宇宙産業に悪影響を与え得る評価方法になっていると言える。

- ADOS モジュールが固体ロケットからの排出物（スラグ）の影響をダブルカウントしている
- 我が国宇宙産業の強みの一つである ADR 技術は「6. Extra Services」に分類され、重みづけが極端に低い

一方で、我が国の宇宙活動法との対応をみてみると、必ずしも SSR の評価方法が我が国宇宙産業に不利なものばかりではないとも考えられる。これについては次項で検討する。

### 2.3.2. 宇宙活動法に準拠した宇宙環境保全に係る新たな認証評価の可能性検討

我が国の宇宙活動法に関するガイドラインのうち、宇宙環境保全に関連する内容を含むものには、案の段階のものも含めて、以下の 4 つがある。

- G1: 人工衛星の管理に係る許可に関するガイドライン<sup>[32]</sup>
- G2: 人工衛星等の打上げに係る許可に関するガイドライン<sup>[33]</sup>
- G3: 人工衛星等との衝突防止に係るガイドライン<sup>[34]</sup>
- G4: 軌道上サービスを実施する人工衛星の管理に係る許可に関するガイドライン<sup>[35]</sup>

この中で、ガイドライン G1~G3 は、衛星事業者にとって、自身の衛星ミッションが宇宙環境への影響を考える上で直接関係のあるガイドラインである。ガイドライン G4 は、自身の事業に直接関係するものではないが、軌道上サービス事業者との契約を通じて関係するものである。

表 2.3.3 には、SSR の評価項目がリストアップされており、表の右には、G1~G4 のガイドラインがそれぞれの評価項目に対応している場合、すなわち、それぞれの評価項目と同様の推奨や義務がガイドライン内で記載されている場合には「○」を記入した。例えば、G3 の「5.1.2 人工衛星の設計上の配慮」には「人工衛星の識別促進」なる項目があり、ここには、「人工衛星の寸法は地上のレーダーから十分視認できる大きさとする。例えば、低軌道衛星であれば直径 10 cm 以上、それより上の軌道で運用する衛星については直径 50 cm 以上が目安となる。これらの寸法を満たさない場合には、識別に寄与する装置を組み込む。」と記載されている。これは、SSR の DIT モジュールの「2.1 検出性」で述べられている、「For this uninformed case, the Detection analysis asks the likelihood that a spacecraft in a given orbit can be detected separately by optical telescopes and surveillance radars.」（衛星に関する情報が与えられていない場合には、検出性解析では、所定の軌道にある宇宙船が光学望遠鏡と監視レーダーによって個別に検出できることが求められる）に対応している。また、ガイドラインの内容が SSR の評価項目と同様とまでは言えないものの、目的は同様と判断されるものについては「△」を記入した。例えば、SSR の DIT モジュールの「2.4 衛星の特性評価」では、衛星の CAD 等の幾何学データを用いて検出性・識別性を評価しているのに対し、G3 では上記の通り、「識別に寄与する装置を組み込む」こと、すなわち、積極的に検出性・識別性を高めることを推奨している。

表 2.3.3 をみると、Mission Index 1.1 と Data Sharing 4.3、ならびに、DIT 2.4 と ADOS 5.3 以外の SSR 評価項目は 4 つのガイドラインにて全て満たされることがわかる。なお、ADOS の 5.1 と 5.2 については、どちらかが満たされればよいものである（ただし、SSR 協会は 5.1 を満たすことを推奨している）。表 2.3.3 では、5.1 には「○」がついておらず、5.2 に「○」がついているが、これは、5.1 は SSR 協会が推奨するいくつかのガイドライン等の適用やテーラリングの有無を評価するものであり、現時点では G1~G4 は 5.1 が対象とするガイドライン等には含まれていないためである。一方で、G1~G4 は「自主的に適用するガイドライン」に相当するのであるため、5.2 については「○」としている。今後、SSR 協会にはたらきかけて、G1~G4 を 5.1 が対象とするガイドラインに含めるようにすれば、5.1 が全て○となる（それに合わせて、5.2 は空欄となる）。

4 つのガイドラインで満たされていないもののうち、DIT 2.4 と Data Sharing 4.3 については、いずれも、衛星の設計データをあるレベルで公開する、あるいは、SSR 協会にデータを提供することを前提としており、そもそも、我が国の衛星事業者にとっては、安全保障貿易管理等の観点で慎重に対応すべき項目であると考えられる。また、ADOS 5.3 については、G2 では固体ロケットの排出物（スラグ）について言及がないために完全には満たしていないと判断し、「△」としたが、打上げロケットがデブリを放出しないようにするという基本概念は満たしている。

以上の点を考慮すると、仮に SSR の評価モジュールから Mission Index 1.1 と、ADOS 5.3 の固体ロケットに関する記述を削除し、かつ、DIT 2.4 と Data Sharing 4.3 で提供／公開する設計データを安全保障貿易管理等の観点で問題にならない程度のものに限定することができれば、「宇宙活動法に則った打上げ機を用いて、宇宙活動法に則った人工衛星を打上げた場合には、SSR の格付けでは高評価を得られる」と

判断できる。つまり、SSR の評価基準をそのように改訂する、あるいは、そのような評価基準を用いた新たな認証を立ち上げると、我が国の打上げ機で打上げた人工衛星は高評価を得られると言える。

表 2.3.3 SSR の評価項目と宇宙活動法のガイドラインとの対応関係

No.	評価モジュール	SSR の評価項目	G1	G2	G3	G4
1	Mission Index	1.1 ECOB (Environmental Consequences of Orbital Breakups) <sup>[2]</sup> 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)	2.1 検出性：光学的検出とレーダー検出による検出性解析			○	
		2.2 識別性			○	
		2.3 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			○	
		2.4 衛星の特性評価			△	
		2.5 追跡オペレータのパフォーマンス評価			○	
3	COLA (Collision Avoidance Capabilities)	3.1 軌道の状態把握	○		○	
		3.2 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			○	
		3.3 通常運用終了後の軌道情報の維持	○			
4	Data Sharing (データ共有)	4.1 衝突回避調整情報の共有・更新 (連絡先情報等)			○	
		4.2 衛星測位情報の共有・更新 (天体歴やその誤差共分散等)			○	
		4.3 衛星特性情報の共有・更新 (質量、形状、マヌーバ能力等)				
		4.4 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)			○	
		4.5 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)	5.1 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				
		5.2 自主的に適用したガイドライン文書の有無	○	○	○	○
		5.3 宇宙機/打上ロケットのデブリ放出有無	△	△		
		5.4 爆発確率の最小化	○			
		5.5 運用終了後の不活性化	○			
		5.6 宇宙機/ロケット上段の運用終了後の廃棄軌道投入有無	○			
		5.7 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)	6.1 軌道上サービス機能の実装設計				△
		6.2 標準化インターフェースの組み込み				△
		6.3 寿命延長サービスの利用/実証へのコミットメント				○
		6.4 外部 ADR の利用/実証へのコミットメント				○

G1 「人工衛星の管理に係る許可に関するガイドライン」<sup>[32]</sup>

G2 「人工衛星等の打上げに係る許可に関するガイドライン」<sup>[33]</sup>

G3 「人工衛星等との衝突防止に係るガイドライン」<sup>[34]</sup>

G4 「軌道上サービスを実施する人工衛星の管理に係る許可に関するガイドライン」<sup>[35]</sup>

### 2.3.3. 我が国が取るべき対応方針の提案

前項までの調査結果をまとめると、以下の通りとなる。

まず、SSR の認証方法には表 2.2.1 に示す 3 つの課題があると国内外の研究者に認識されている。また、SSR 協会自体もこのことを認め、改善を検討している。

SSA の専門家からは、SSR の DIT モジュールの各評価項目は SSA の観点で合理的であり、今後、STM を考える上で参考になるとの意見が出されている。

以上のことから、上述の3つの課題を解決できれば、SSRが国際的に普及する可能性はあると考えられる。もしくは、SSR自体が普及しなかったとしても、今後宇宙環境保全に関する新たな国際ルールが立ち上がる際等に、SSRの認証評価の枠組みや考え方が参考とされる、あるいは踏襲される可能性がある。

次に、そのような状況になった場合の我が国への影響について考える。我が国においてはSSR協会に意見を提示し、SSRの評価方法を適切なものに修正できるプロセスを有していることから、このプロセスを維持し、SSRの課題解決に向けた意見・助言等を提供し続けることで、SSRが普及した場合においても一定の発言力を持つことができると考えられる。また、新たな国際ルールの立ち上げの動きが出てきた場合においても、SSRの認証評価の枠組みや考え方等を活かすことで、我が国が国際ルール形成において発言力、影響力を持つことができる可能性がある。

ただし、それには2つの条件がある。まず、SSRの評価方法の修正や新ルールの先導には、それを強く推進するステークホルダ（例えば民間事業者、特に、その修正や先導が自身のビジネスの発展に直結するような事業者や、アカデミア、政府等）が必須である。さらに、宇宙環境保全に関する新たな国際ルールの立ち上げの動きを見落とさないようにするため、最新動向を常時注視する機能も必要である。

以上を踏まえ、我が国が取るべき対応方針としては表2.3.4のようなものが考えられる。

表 2.3.4 SSRに対する我が国として取るべき対応方針の案

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1) 構築済みのSSR協会と我が国との関係性を維持し、引き続き情報交換・意見提示プロセスを確保できるよう努める。</li><li>2) 表 2.2.1 に示すSSRの課題の解決にあたり、引き続き技術的妥当性、我が国産業政策への影響等を加味した適切な意見出し、助言等を行う。</li><li>3) SSRが今後国際的に普及する、またはSSRの設計等が他の国際標準、ルール等に取り入れられる可能性に鑑み、引き続き関連する国際活動を注視するとともに、国内ステークホルダ（民間事業者、研究機関、アカデミア、政府等）間での情報連携等を行う。</li></ol> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 3. 宇宙環境保全に関する国際ルールの最新動向及び見通しに関する調査分析

本章では国際会議参加と有識者からのヒアリングを中心に、宇宙環境保全に関する国際ルールの最新動向及び見通しについて調査した結果をまとめる。

#### 3.1. 国際会議参加による国際ルールや関連するフレームワーク形成の最新動向調査

宇宙環境保全に関する国際ルールの最新動向・見通しの調査の一環として、以下の5つの国際会議に参加した。

- 1) International Astronautical Congress 2024 (IAC2024、2024年10月14～18日、ミラノ)
- 2) IAA Space Debris and Sustainability Conference (SDS、2024年12月2～4日、香港)
- 3) American Geophysical Union, Annual Meeting 2024 (AGU2024、2024年12月9～13日、ワシントンDC)
- 4) 10th CNES Workshop on End of Life Satellites and Sustainable Technologies (2025年1月21～23日、トゥールーズ)
- 5) UNCOPUOS/STSC (国連宇宙平和利用委員会/科学技術小委員会、2025年2月3～14日、ウィーン)

その調査結果のサマリを表3.1.1に示す(なお、個々の調査結果は付録A.1に記載した)。表内の文章の上付き文字の1)～5)は、上記のどの国際会議で特に言及されたかを示している。

表 3.1.1 国際会議参加による調査結果のサマリ

<p>1. 宇宙環境保全・宇宙の持続可能性に関しては、PMDやADRといった従来の議論に加えて、新たな動きとして、次の3つに関する科学的な議論が盛んになりつつある。近い将来、このような議論をベースに、ルール・標準が形成されていく可能性はある。</p> <p>① 宇宙機の製造から廃棄に至るまでの環境負荷を評価する Life Cycle Assessment (LCA) <sup>1)</sup></p> <p>② 打上げ機や再突入時の衛星の影響によるオゾン層破壊 <sup>2), 3)</sup></p> <p>③ ラージ・コンステレーション等が地上からの天文観測に与える影響 (Dark and Quiet Skies 問題) <sup>5)</sup></p> <p>2. 再突入による環境破壊についてはフランスをはじめ、研究を進めており、例えば、メガ・コンステレーションが実現する将来のシナリオでは、衛星の再突入によって生成される副産物(酸化アルミニウム等)は年間360トン以上に達する可能性があるというような試算もなされているが、規制や標準等のルール化の検討までには至っていない<sup>3)</sup>。その一方で、フランスはIAAのStudy Groupを立ち上げることを検討している<sup>2)</sup>。また、オゾン層破壊の計測方法については「標準化」を行い、計測機関間で共通の評価が可能となるようにすべきとの議論がみられた<sup>3)</sup>。</p> <p>3. IADCガイドライン<sup>[13]</sup>やISO 24113:2019<sup>[18]</sup>ではPMD成功確率90%を推奨してきているが、FSOAに従ってEOL処理を行った場合、破碎無し、25年ルール順守、大規模コンステレーション無しという条件で行った結果、PMD成功確率が90%であれば物体増加は緩やかとなる一方で、大規模コンステレーションがあり、破碎も起きるとPMD成功確率90%であっても物体数は著しく増加するとのシミュレーション結果が得られている。今後、このようなシミュレーションの妥当性が確認されていくと、PMD成功確率の推奨値がこれまでの90%よりも大きくなる(そのようにルールが変わる)可能性がある<sup>4)</sup>。</p> <p>4. STMにはSSAが欠かせず、SSAはグローバルにみる必要があることから、技術・設備を有していることは強みになることや、GlobalなSSAネットワークを構築し、宇宙での事象を直ぐに把握できることが重要との議論がなされた<sup>4), 5)</sup>。例としてロシアのISON、中国のAPSCOの活動が挙げられた。例えば、技術・設備が無ければ民間の事故に関する責任を一方的に言われる可能性がある<sup>4)</sup>。実際、2024年10月のIntelsat 33eの破碎に関しては、CNES (Centre national d'études spatiales、フランス国立宇宙研究センター)はTAROT望遠鏡ネットワークを用いた観測結果をもとにこの事象がケスラーシンドロームを引き起こすことは少ないと主張した一方で、ロシアは(他の破碎の観測データも併せて)ケスラーシンドロームを引き起こす可能性を示唆するなど、(自国・他国の)破碎事象の環境への影響への評価や原因特定、STMにおける衛星の安全運用、自国衛星の保全のいずれについても、高度な「SSAの技術」と観測ネットワークがないと正確な評価ができない状況にある<sup>5)</sup>。</p> <p>5. Dark and quiet sky問題に関しては、UNCOPUOS/STSCにて2025年から議題として設定され、各国が規制と新規技術開発の必要性を表明している。このことから、ルールメイキングが図られる可能性が示唆される。実際、EUTELSAT社はUKSA (United Kingdom Space Agency、英国宇宙局)と協力して、衛星の光学的輝度に関する「Dark and quiet skies」規格の作成に取り組んでいる<sup>5)</sup>。また、英国は宇宙環境保全に必要な組織の構成や実施内容、検討すべき技術項目を整理し、今後の計画</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

として、「規制ではなく、自主的/インセンティブに基づくもの」、「定量的指標と定性的指標の利用」等を掲げている<sup>5)</sup>。これらは SSR の基礎をなす考え方に通じるものである。

6. LTS ガイドラインについては UNCOPUOS/STSC で議論が継続しているが、そこでも、STM 及び Dark and quiet sky、さらには、STM のコア技術としての SSA について議論がなされている<sup>5)</sup>。

このほか、Dark and quiet sky 問題については、IAU（国際天文学連合）がこの問題に対処するセンターを 2022 年に設置し、活動を続けている<sup>[50]</sup>。また、LCA については、米国の NPO である PIRG Education Fund United States Public Interest Research Group（PIRG）Education Fund（米国公共利益研究グループ（PIRG）教育基金）は連邦通信委員会（FCC）が 1969 年の国家環境政策法（NEPA）に基づいて環境への影響を検討するまで LEO 衛星インターネットの打上げを一時停止する公開請願を 2024 年に開始している<sup>[49]</sup>。PIRG は、環境リスク（低軌道に大量の衛星が配置されることで、衛星の再突入時に大量のスペースデブリや汚染物質が大気中に放出される可能性がある）を評価し適切な「規制」を導入するための包括的な環境レビューが必要であると主張している。

## 3.2. 有識者へのヒアリング等による国際ルールの最新動向の識別

### 3.2.1. 有識者に対するヒアリング

宇宙環境保全に関する国際ルールの最新動向、ならびに、我が国の産業振興に資する国際ルール形成戦略について、有識者 5 名にヒアリングを行った。その結果のサマリを表 3.2.1 に示す（なお、個々のヒアリングの内容については付録 A.2 に記載した）。表内の文章の上付き添え字の A~E は、それぞれ、有識者 A~E へのヒアリング結果に基づくものであることを意味している。

表 3.2.1 有識者ヒアリング結果のサマリ

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>○ ルールメイキング全般について</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 今後の宇宙環境保全に関連したルールメイキングについては、以下の点を考慮するとよい<sup>A</sup>。<ul style="list-style-type: none"><li>- 調達力の高い企業（市場における発言力のある企業）や官の積極的な参加を得ること。</li><li>- 民間企業の経済的利益をできるだけ具体的に（ステークホルダ別に）可視化すること。</li><li>- ステークホルダ全体の利害関係を考え、国内外の仲間づくりを戦略的に実施すること。</li></ul></li><li>2. 一般に、ルールメイキングには時間がかかり、そこでは人づくり、人脈づくりが重要となるため、ルールメイキングに特化した組織やミッションを与えられた人物が継続的に対応できるとよい。常設の機関（シンクタンクというよりは、実務的な機関）が必要ではないか<sup>B</sup>。</li><li>3. 国際ルールメイキングについては、ルールに対して意見を主張できることが重要であり、主張の根拠として、国内に技術とルールの双方を持っている事は有利に働く。したがって、上記の機関は、標準化に知見を有し、かつ、技術にも明るいチーム（技術者、法務関係者、認証関係者からなるチーム）から成るものとよい<sup>B</sup>。</li><li>4. ルールメイキングの際には、技術もルールも透明性が重要であるが、技術については特許等も含め、中身の開示が困難であることも予想される。その場合、技術の中身ではなく、技術の結果として現れることを評価すればよいのではないかと考えられる（例えば、その技術によって、宇宙環境保全に関してどのような効果があったのかを論じるなど）<sup>D</sup>。</li></ol> <p>○ 宇宙環境保全に関するルールメイキングについて</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. いわゆる 25 年ルールのきっかけとなったのは、宇宙空間におけるある物体分布モデルを用いて、軌道寿命と衝突確率との関係を計算したところ、25 年を境に、衝突確率が大きく下がったからとされている。ただし、PMD は考慮していない。当時と現在とでは宇宙環境が異なるので、いま、同じ計算をすると、もっと短い年数になると予想される<sup>D</sup>。</li><li>2. フランスでは、宇宙機の再突入が宇宙環境に及ぼす影響（アルミナ等による影響）について学術研究が進められている。まだ規制や標準等のルール化には至っていないが、IAA で Study Group を立ち上げることを検討中である<sup>E</sup>。</li><li>3. 今後は、デオービットにより再突入した衛星が確実に燃え尽きて残留しないようにするための設計“Design for Non-Demise”（D4ND）が重要となる。そのための研究を進め、メガ・コンステレーションが広がる前に、適切な勧告をする必要がある<sup>E</sup>。</li></ol> <p>○ STM、SSA に関するルールについて</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. SSA の場合、座標系が違うだけでもデータのやりとりが大変になる。このような技術的なスタンダードを揃えれば、グローバルなサービスを展開しやすくなるだろう<sup>B</sup>。</li><li>2. 世界的に見ても、地球全球を完全にカバーしている SSA 機関・事業者があるわけではないようである。SSA の場合、枠組みの構築が重要であり、アジア・太平洋地域でネットワークを組むことが考えられ、例えば、APRSAF で議論できる可能性がある<sup>B</sup>。</li></ol> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

3. 海外では、コンステレーション事業者が中心となって、オペレーションのルール（ベストプラクティス、ガイドラインのようなもの）を民間主導で作りつつある。一般に、このような場合、民間がルールを作った後、政府がそれを国内で法制化し、さらに、それを海外に展開する可能性はある<sup>C</sup>。
4. 小さな物体に対する衝突リスク把握や対策に関しては、国際的にも標準はまだない。ここを日本が主導できればよいかもしれない<sup>C</sup>。
5. 新しい分野に必要となる機器の規格や標準をつくることで我が国が世界をリードすることはあり得る（例えば、SSA用の望遠鏡の規格をつくるなど）<sup>A</sup>。

○ SSA 関連技術について

1. 海外では SSA 事業者がコンステレーションの運用（特に、衝突回避運用）を担当している事例もある。日本でも、SSA を利用したコンステレーションの運用技術の開発が必要になってくる可能性がある<sup>C</sup>。
2. これも含めて、軌道上での life cycle 技術（デブリ低減技術、デブリにならない技術）が日本でも高まるとよいであろうし、そういった意味で、衛星事業者・運用者は人工衛星の軌道把握能力をより向上させる必要が出てくるだろう<sup>C</sup>。
3. 実際、海外には 2cm 程度のものを観測できる SSA 事業者があるとされているが、どこまで品質評価ができてきているのか、どこまで衝突回避運用に利用できているかは、オープンにはなっていない。このような観測技術の開発は今後重要になるかもしれない。米国では 10cm 以下の物体の観測についてプロジェクトを組んでやっている<sup>C</sup>。
4. また、例えば、宇宙機の破砕や宇宙機同士の衝突等のトラブルが発生した際、具体的に何が起こったのか、自分が情報を持っていないと、先方の主張に反論ができず、不利益を被る可能性がある。その意味でも、SSA の技術を有していることは重要<sup>B</sup>。

○ SSR について

1. SSR にも DIT モジュールの評価項目には SSA サービスの基準があり、これは参考になる。SSR は「望ましい姿」を描いており、点数化には課題がないわけではないが、基準を設けている点は有用である<sup>B</sup>。
2. Debris Index については、2010 年頃の段階では、海外ではあまり賛同が得られる状況にはなかった。当初の Debris Index は、一個の物体が軌道上の寿命中に発生する物体の数と定義されていた。その際に考慮されたのは衝突と爆発であり、回避動作の可能性と推進剤枯渇に対しては係数を乗じることで軽減されていた。衝突頻度は高度で違うため、軌道寿命中に高度が変わる物体については積分により Debris Index を求める。SSR の Mission Index も、計算法や根拠、数値例を提示することで周囲からの理解を得やすくするとよいのではないかと<sup>D</sup>。
3. SSR のように宇宙環境保全に関する活動にインセンティブを与えることは、インセンティブ自体に加えて、警告という意味でも大事である。実際、衛星事業者にとって、「自分たちの衛星が宇宙環境に対してどのくらい悪影響を及ぼすものなのか」を確認・自覚することが大事である<sup>D</sup>。
4. SSR の Mission Index については、高度 700km 以下ではかなり小さな値になっている点が気になる。2017 年の論文をベースにしているように読めるが、その頃はまだラージ・コンステレーションが実現していないので、現在の状況を踏まえると、異なった値になる可能性がある<sup>D</sup>。
5. SSR は、3 つの課題（表 2.2.1）を解決すれば、有効な評価ツールとして活用される可能性がある<sup>E</sup>。

### 3.2.2. 英国の国際ルール戦略の現地調査

ここ 1、2 年の間に、英国基準協会（BSI）がカイトマーク認証により宇宙活動の認証評価を開始し、英国王立協会が英国宇宙庁による資金提供のもとで ESSI（Earth-Space Sustainability Initiative）を立ち上げるなど、英国では宇宙環境保全の国際ルールに関する活動が活発化しつつある。

ESSI は、産業界、学界、政府、国際機関、金融および保険コミュニティを結集し、英国規格協会(BSI)を通じて宇宙持続可能性基準の確立を促進するための「原則」と「標準」の開発を開始し、Space Sustainability Principles（SSP、宇宙持続可能性原則）を発表している<sup>[37]</sup>。ESSI には金融・保険業界が積極的に関与しており、ESSI はこの SSP を「金融および保険業界、そして政策立案者によって国際的に認められた、グローバルで透明性の高い環境、社会、ガバナンス（ESG）の宇宙持続可能性基準である」と謳っている。そして、この基準が宇宙セクターのより責任ある行動を促し、宇宙空間の持続可能な利用を確保することで、宇宙産業へのより大規模かつ広範な投資を誘致し、投資家に対して透明性と信頼性を提供し、保険やライセンスの整備を支援するとしている。また、英国政府が出版している”Space Regulatory Review 2024”<sup>[38]</sup>には、「英国は、インセンティブ、規制、または法律を適切に活用することで、軌道経済全体の主要分野で基準を策定するために業界主導の ESSI が行っている取り組みを支援するためのアプローチを示すべきである」との記述があり、英国政府が ESSI の活動を支持していることがよくわかる。

ESSI は 2025 年 1 月に初めて Closed な会議”Leading Global Change through the Earth & Space Sustainability Initiative”を開催し、目標達成に向けた今後の取り組みについて議論している（王立航空

協会との共催)。次項にも示す通り、他にもこのような活動はあるが、ESSI の特徴は金融および保険業界が特に強く関与し、投資や保険のルールについても議論している点にある。ただし、「どうしたら世界のルールを共通化できるか」といった議論にとどまり、具体的なルールメイキングの議論や、ルールメイキングをどこが先導するのか、といった議論にまでは至っていない。この会議を受けて、2025 年 6 月に Open な国際会議が開催される予定とのことである。

次に、英国のアカデミア、宇宙機企業、保険企業、法曹界の 4 分野の有識者にヒアリングを行った。まず、アカデミアの有識者からは、国際ルールについては、Astroscale 社をはじめとする日本企業及びそれをサポートする我が国政府の協力が不可欠との意見をj得ている。実際、英国は宇宙活動法や関係するガイドラインを詳しく調査しており、Astroscale 社が宇宙活動法に基づいて衛星管理許可を取得し、実際に日本国内から衛星を運用している点は、他国に例を見ない好事例と認識されているとのことである。

次に、宇宙機企業の有識者からは、英国では軌道上サービス事業やデブリ除去事業に対してサンドボックス制度（特定の規制下において新技術やサービスを試験的に運用することを認める仕組みであり、新たなビジネスモデルや技術の実用性をテストし、その過程で得られた知見を基に規制の改善や新たな規制フレームワークの構築を目指す規制緩和のための制度）が適用され、最先端技術の軌道上試験が可能になったとの情報を得た。サンドボックス制度の適用事例は、我が国にも参考になると考えられる。

保険企業の有識者からは、ESA がゼロ・デブリ憲章を制定したことや ESSI が保険のインセンティブを考えていることについて、前向きな意見が得られた。ただし、低軌道衛星については、元々、保険を掛けている衛星があまり多くないことから、インセンティブの効果については未知数とのことであった。一方で、GEO/LEO における事故について、UK やフランス、ルクセンブルクなど多くの欧州国では、第三者賠償責任について、保険を掛ければその上に政府補償を付けられる制度が整っており、実際に支払われた事例もあるとのことであり、今後、低軌道について強制力を持った損害賠償保険の導入がされる流れになる可能性が指摘された。

最後に、法曹界の有識者からは、英国の産業界が UK を含む欧州におけるサステナビリティの議論を常に注視をしていることや、軌道上ビジネスや ISS での事故について宇宙保険マーケットでカバーするような議論はまだあまりされていない旨の意見が得られた。

### 3.2.3. 文献等の調査結果

SSR や ESSI を含め、民間、あるいは宇宙機関における宇宙環境保全関連の活動は多く立ち上がっているが、例えば、2024 年 7 月に東京で開催された 6th Summit for Space Sustainability の pre-conference workshop では、表 3.2.2 に示した活動について議論がなされている。

表 3.2.2 民間、あるいは宇宙機関における最近の宇宙環境保全関連活動

組織	活動	概要
AIAA	Satellite Orbital Safety Best Practices <sup>[39]</sup>	A: 設計段階 (3 ケース)、B: 打上げ直前および軌道投入直後 (3 ケース)、C: 運用時 (3 ケース)、D: 廃棄時 (1 ケース) のそれぞれについて、ベストプラクティスを紹介したものの。
CONFERS	Guiding Principles for Commercial Rendezvous and Proximity Operations and On-Orbit Servicing <sup>[40]</sup>	民間におけるランデブーおよび近接運用、軌道上サービスの指針を示したものの。
ESSI	Memorandum of Principles for Space Sustainability <sup>[37]</sup>	宇宙活動の長期的な持続可能性に対する国際的な関与、理解、管理を促進することを目指し、これらの努力を通じて、責任ある行動に関する透明性のある宇宙持続可能性原則 (SSP) を確立しようという覚書。ESSI は英国規格協会 (BSI) を通じて SSP を策定することを考えているようである。
ESA	Zero Debris Charter <sup>[23, 24]</sup>	2030 年までにデブリをゼロにする (デブリニュートラル) ための指針と共同目標を示した憲章。目標達成のための 8 つの行動指針 (1. 確実な廃棄、2. 軌道上環境の改善、3. 衝突回避、4. 内部破碎防止、5. デブリ排出防止、6. 再突入物体による地上での人的リスク評価、7. "Dark and quiet sky" の保証、8. 低軌道や静止軌道以外の軌道での持続可能性の確保) を

		示した Zero Debris Approach <sup>[41]</sup> も公開されている。また、2025年1月には、放射線や原子状酸素等の影響による意図せぬデブリの発生の防止や PMD、軌道上での破壊・衝突の回避、STM、地上での事故の防止、そして、再突入による影響の評価および Dark and quiet sky 問題（宇宙機やデブリ、および電波による影響から天文観測を保護する問題）について、技術資料”Zero Debris Technical Booklet” <sup>[24]</sup> を発表している。
GSOA	Code of Conduct on Space Sustainability <sup>[42]</sup>	宇宙の持続可能性に関する 3 つの課題（1. 軌道上衝突の低減、2. 追跡不可能なデブリの脅威の最小化、3. 地上からの光学天文学への影響の最小化）への対策と実践を示した行動規範。
Hague Institute for Global Justice	Washington Compact <sup>[43]</sup>	民間の専門家による、商業宇宙利用の行動規範を示した協定文書。
IISL	STM に関する認証機関設立	IISL（国際宇宙法学会）が中心となって、STM に関する認証機関を立ち上げる動きが 2025 年になって出てきている。国に代わって認証業務を請け負って、衛星の質量と軌道に基づいてエコタックスを徴収・管理することを検討しようとしているようである。我が国の宇宙環境保全関連の研究者・技術者も含め、各国の関係者が参加の打診を受けている。
Paris Peace Forum	Net Zero Space Initiative <sup>[44]</sup>	新たなデブリの発生を抑制し、既存のデブリを除去するための行動を起こすことで、2030 年までに宇宙の持続可能な利用を実現しようとする関係者のためのプラットフォーム。2021 年 11 月に「ネットゼロ宇宙宣言」を出し、その後、2 つのワーキンググループをつくって活動中。日本企業を含む衛星システムメーカーや、打上げ事業者、衛星運用事業者、ADR 事業者、SSA 事業者、ラージ・コンステレーション事業者、宇宙機関等が参加。
SIA	Principles of Space Safety <sup>[45]</sup>	宇宙ミッションの安全な飛行運用を確保することで、宇宙の利用と長期アクセスを保護することを目的とした原則で、SIA に参加する企業がこの原則に従って宇宙活動することを謳っている。
Space Safety Coalition	Best Practices for the Sustainability of Space Operations <sup>[46]</sup>	宇宙運用の長期的な持続可能性のために、宇宙機の運用者や所有者、ステークホルダ等に対する 9 つのベストプラクティスを示している。多数の宇宙関連事業者や財団等が参加。
SSR Association	Space Sustainability Rating	既述の通り、衛星ミッションの宇宙環境保全に対する活動の格付け認証事業を実施中。
Sustainable Markets Initiative	Astra Carta <sup>[47]</sup>	世界の民間セクターが、政府、国家間組織、その他の利害関係者と連携して、宇宙関連活動を持続可能な目標、アプローチ、基準と連携させるためのロードマップ。
World Economic Forum	Space Industry Debris Mitigation Recommendations <sup>[48]</sup>	宇宙産業界に対するデブリ軽減勧告。1) PMD、2) 衝突回避・マヌーバビリティ・推進、3) データ共有・軌道上での交通管理、4) 財務指標、5) 環境容量、6) 政府の責任の 6 つの点について勧告している。

この中でも特に、ESSI と IISL はどちらも認証システムの構築を検討し始めていることから、今後もその動向を注視していく必要があると考えられる。

### 3.3. 今後の見通しの分析

#### 3.3.1. 今後普及する可能性がある国際的な取組の分析

3.1、3.2 節の調査結果より、今後普及する可能性のある取組には以下のものが挙げられる。

- 1) まず、ESSI の取組が挙げられる。これまで、宇宙環境保全活動を保険と結び付けようとするアイデアは出されてきたが、実現していなかった。しかし、ESSI が金融・保険業界と強く結びつきながら宇宙持続可能性原則（SSP）を進めようとしていることから、SSP に準拠した何等かの保険商品が生まれる可能性が出てきた。また、そういった商品が認証評価と結びつく、すなわち、SSP に基づく認証評価が行われ、評価結果が保険料率等に反映される可能性がある。
- 2) 次に、ゼロ・デブリ憲章については、ESA の衛星については確実に普及することになるが、これにより特別に製造／開発コストが高くなるようなことはないと考えられるため、欧州の民間衛星にも普及する可能性はある。
- 3) また、表 3.2.2 の取組の中では、ESSI、ゼロ・デブリ憲章以外に、Paris Peace Forum の Net Zero Space Initiative と Space Safety Coalition の Best Practices for the Sustainability of Space Operations が挙げられる。これらは、現時点では普及の可能性は明確ではないものの、多種多様な宇宙セクターがコミットしていることから、他の取組と比べると、普及の可能性はあると考えられる（CONFERS については、宇宙環境保全活動というよりは軌道上運用の指針という色合いが強いため、ここでは除外した）。
- 4) 加えて、まだ学術研究の段階ではあるが、① Life Cycle Assessment (LCA)、② オゾン層大気問題への取組、③ Dark and quiet sky への取組の 3 つは、どれも宇宙活動にとどまらず、地上の活動、地球環境にも影響を与える、より広い取組となることから、普及の可能性はある。
- 5) SSA については、まだ国際的な規格や標準といったルールは出来上がっていないものの、関連した活動が活発になってきていること、ラージ・コンステレーションの登場でいよいよ重要視されてきている STM に必須の技術であることから、何等かのルールが普及していく可能性は極めて高い。
- 6) SSR は、3 つの課題（表 2.2.1）を解決すれば、有効な評価ツールとして利用される可能性はある。また、現時点で唯一、認証ビジネスに結びついている取組であることから、今後、同様の認証ビジネスが生まれる際、SSR の認証評価の枠組みが利用される可能性はある。さらには、DIT モジュールの評価項目は SSA の評価指標としても参考にされる可能性はある。

これら以外では、IISL の STM に関する認証機関設立の動きについては、まだ構想段階で具体化していないため、普及する可能性を議論できるレベルにはないものの、当面、動向を注視する必要があるだろう。

#### 3.3.2. 我が国の政策や国内企業の活動に影響を与え得る国際的な取組の分析

前項に示した 6 つの取組について、我が国の政策や国内企業の活動に与え得る影響は以下のようにまとめられる。

- 1) ESSI の取組については、宇宙環境保全に保険企業が本格的に参入したことが、これまでとは大きく異なる。従来、デブリ問題は短期的には保険には結び付きにくいと考えられてきており、そのような意見は英国保険企業の有識者にヒアリングでも得られている。しかし、ESSI の取組により、具体的にどのくらい先の将来になるかはわからないものの、近い将来、欧州で事業を展開しようとする国内衛星事業者には保険の面で影響を与える可能性が出てきた。
- 2) ゼロ・デブリ憲章については、欧州で事業を展開しようとする国内衛星事業者には直接的な影響があるものの、特にコストの大幅増等のネガティブな影響の可能性は低い。一方で、ゼロ・デブリ憲章が普及すると、我が国も政策として対応・追従せざるを得なくなる可能性はある。また、これにより ADR や PMD の市場が劇的に拡大する可能性は高くないものの、ある程度の拡大は期待できる。
- 3) Paris Peace Forum の Net Zero Space Initiative と Space Safety Coalition の Best Practices for the Sustainability of Space Operations については、我が国の政策や国内企業の活動に直接的な影響を与え得るとまでは断言できないが、参加企業同士のつながりを利用できる可能性があるという点で、これらに国内企業が参加することでメリットがある可能性はある。
- 4) ① Life Cycle Assessment (LCA)、② オゾン層大気問題への取組、③ Dark and quiet sky への取組については、現時点では影響を与え得るものではないが、どれも、仮にルールができて普及した場合、それらのルールに従わない企業は事業に支障をきたすことになり、かつ、どれも環境問題として一般に理解されやすい取組であることから、海外事業を展開したい国内企業には影響があると考えられる。特に、①、②については、衛星システム、および、全ての衛星搭載機器に適用可能なルールとなり得

るため、特定の企業ではなく、宇宙関連企業全体に影響を及ぼすと考えられる。③については、衛星構体の開発メーカー、あるいは、その素材メーカーにとって、自分たちの希望する材料を利用できなくなる可能性があるという点で、影響は小さくない。以上のことから、我が国の政策も、これらの取組に対応したものにならざるを得なくなると予想される。この3つのどれも、海外に比べると、国内での学術研究は先行しているとは言えないので、今後を見越して、国内で学術研究を進めることも肝要と考えられる。

- 5) SSA については、技術的な規格・標準を揃える活動（例えば、SSA 用の望遠鏡の規格をつくる、SSA に使用する座標系の規格をつくるなど）が国際的にはまだ盛んになってはいないこと、国内に SSA 事業者があること、SSA のサービスはグローバルに展開する必要があるものの現時点では地球全球を完全にカバーしている SSA 機関・事業者があるわけではないことなどから、我が国が政策的に取り組むことで、我が国宇宙活動の自立性確保や産業振興等に寄与する可能性がある。特に、ラージ・コンステレーションが広がっている今、軌道上で衛星間のトラブルが生じた際に SSA サービスを利用できないと不利になる可能性もある（トラブルの原因が自分たちにあるとされてしまうなど）ことから、国内衛星事業者が SSA サービスを利用できる環境を整えること（国内 SSA 事業者の技術向上やグローバル展開を支援するなど）が我が国の政策の一つになり得る。また、グローバルな SSA サービスという観点では、APRSAF などの機会を利用してアジア・太平洋地域で SSA ネットワークを組むといったことも、政策、あるいは、国内 SSA 事業者の活動領域となり得る。さらに、SSA の技術獲得やグローバルな観測ネットワークの実現は、国際市場の獲得にも繋がる。
- 6) SSR については、我が国は既に SSR 協会との関係性を構築していることから、SSR に関連した新たなルールの立ち上がり等の動きに際しては、この関係性を有効利用していくことが肝要。

## 4. SSR 及び宇宙環境保全に関する国際ルールの最新動向及び見通しが我が国企業や政策に与え得る影響度の分析

本章では、2章及び3章で示した SSR を含む宇宙環境保全に関する国際ルールの最新動向の我が国企業や政策に対する影響度を分析する。

### 4.1. 影響度の分析

前章までの宇宙環境保全に関する国際ルールの最新動向及び見通しの調査結果を踏まえ、以下にそれらが我が国企業や政策に与え得る影響度を示す。なお、「影響度」については、「ルール化／発展の可能性」と「ルール化／発展した場合の影響度」とに分けて示している。

まず、国際機関等による国際ルール・ガイドライン等については、従来から IADC、ISO、FCC、FAA 等によるデブリ低減に関するものをはじめ、表 2.3.1 に掲げたものが挙げられる。これらは既にそれぞれ影響力を持ったものであり、我が国企業にも認知されている。また、その他にも表 3.2.2 に示した活動が挙げられる。これらの中で、特に 2024 年度に動きがあったものとしては、表 4.1.1 に示すものが挙げられる。

表 4.1.1 最近の国際機関等による宇宙環境保全関連のルールメイキングの動向の影響度

	国際ルール等	ルール化／発展の可能性	ルール化／発展した場合の影響度
(1)	ESA のゼロ・デブリ憲章	ESA ミッションの範囲内で発展する可能性大。特に、技術資料“Zero Debris Technical Booklet” <sup>[24]</sup> が発行され、方向性が具体化されたことで、憲章の影響が強まると予想される。	ESA ミッションのみであれば、影響度はそれほど大きくないと考えられるが、ESA ミッションならず、欧州における民間宇宙ミッションにも自主的に適用されていく可能性もあり、その場合には、PMD、ADR 分野の市場拡大などの影響が見込まれる（国内企業も参入できる可能性が出てくる）。
(2)	ESSI の宇宙持続可能性原則	金融・保険業界が参加していること、ルール化を得意とする英国のものであることも考慮すると、中長期的には発展する可能性は比較的高いと考えられる。	保険に利用されることが想定され、その場合には、衛星事業における保険コストに直接影響を与えることになる。
(3)	SSR	認知度が上がっており、表 2.2.1 に示した 3 つの技術的課題が解決されれば、発展する可能性はあると国際会議でも指摘されている。	認証ビジネスとして拡大する可能性が大きいとまでは断言できないが、ビジネスモデル（枠組みやインセンティブの与え方等）としては広がる可能性はある。
(4)	IISL（国際宇宙法学会）による STM に関する認証機関	まだ認証機関を設立する動きが始まった段階であり、現時点では発展の可能性は未知数である。	国際的な影響力のある IISL が主導している活動であり、国に代わってエコタックスの徴収・管理を請け負うことを想定していることから、仮に認証機関立ち上げにまで至った場合には、関係する国の民間事業者にはコスト面で直接的な影響が出る。
(5)	UKSA らによる衛星の光学的輝度に関する「Dark and quiet skies」規格	表 3.1.1 に示した通り、UKSA と EUTELSAT 社が協力して、検討しているものがあるが、Dark and quiet sky 問題自体がまだ研究段階にあるため、現時点では発展の可能性は未知数である。	Dark and quiet sky 問題に関しては、各国とも規制と新規技術開発の必要性を表明していることから、仮に規格化されると、民間事業者には直接的な影響（衛星開発におけるコスト面や、材料選定等への影響）が出てくる。

また、国際ルールの観点で調査をしてきた中で、国際会議や有識者ヒアリングにおいて、今後ルール化が進む可能性の高いものとして、STM が多く挙げられ、STM を実現するための必須の技術として SSA が指摘された（表 3.1.1、表 3.2.1）。これまで、宇宙環境保全問題はデブリ問題とほぼ同様の意味で使われる感が強かったのに対し、個々の宇宙機がデブリ化する問題の先の課題ともいえる STM、すなわち、宇宙機全体の交通管理問題が宇宙環境保全問題として捉えられるようになったのは、大規模コンステレーションが実現された結果と考えられるが、その中で、特に SSA が注目を集めているのは、表 3.1.1 でも言及

した通り、2024年10月のIntelsat 33eの破砕事故の宇宙環境への影響評価において、SSA技術に基づく観測結果が用いられたことも一因だと考えられる。

さらには、Life Cycle Assessment、オゾン層大気、Dark and quiet skyの3つの問題も、大規模コンステレーションにより注目されるようになったものといえる。一方で、従来からのデブリ問題については、デブリが宇宙環境に与える影響の評価指標、すなわち、Mission Indexが成熟していないことから、表2.3.1に掲げた従来のガイドライン等の議論で収まっており、次の段階にまでは進んでない。逆に言えば、Mission Indexの研究が成熟し、国際的なコンセンサスが得られるようになれば、ルール化が進む可能性はあると考えられる。

以上をまとめると、今後ルール形成がなされる可能性のある研究・分野とその影響度は表4.1.2のようになる。これらについては、表2.3.1や表4.1.1のようにルール化の主体が決まっているものではないため、逆に言えば、我が国の研究者、民間事業者、政府が貢献できる可能性のある分野である。

表 4.1.2 近い将来、ルール形成がなされる可能性のある研究・開発分野とその影響度

(1)	SSA	STMのキーとなる技術であり、今後発展する可能性は高く、それに伴って、ルール化されていく可能性も高いと考えられる。	観測技術の研究の発展と、観測機器やデータ処理の市場拡大、グローバルネットワーク化等、総じて、SSA事業の発展が見込まれる（したがって、先んじて研究・開発を進めることが重要になる可能性がある）。
(2)	LCA	まだ研究段階ではあるものの、GHG問題では一般的な考え方でもあるので、何等かの法制化も含め、可能性は低いと考えられる。	衛星開発コストの増大が予想されるが、一方でPMD、ADR、SSA分野の市場拡大は見込まれる（国内企業の中には既にLCAの考え方で衛星を開発している事業者もあり、そういった事業者にはポジティブな影響が出る可能性がある）。
(3)	オゾン層大気問題	まだ研究段階ではあるものの、オゾン層問題自体は一般によく知られていることから、オゾン層への影響が大きいという研究の結果が出てきた場合には、ルール化される可能性が出てくる。	固体ロケット開発企業、固体ロケットを用いて打上げる衛星事業者、低軌道の衛星事業者にとっては、自身の活動を低く評価されることになるというネガティブな影響が出ると考えられる。一方で、低軌道衛星の材料の工夫など、新たな市場が生じる可能性もある（その意味で、衛星に利用する素材の研究が重要となる可能性がある）。
(4)	Dark and quiet sky	メガ・コンステレーションの発展に伴い、ルール化される可能性は比較的高くなりつつあると考えられる。実際、表4.1.1に示した通り、UKSAらが検討を始めている。	メガ・コンステレーション事業者にはネガティブな影響が出るが、衛星表面素材の工夫などで対応できる程度のルールであれば、素材市場の拡大が見込まれる（その意味で、素材研究が重要となる可能性がある）。
(5)	Mission Index (Debris Index)	この分野の研究が発展し、透明性が担保された定量化手法が明らかになれば、ルールに利用される可能性はある。	衛星事業者にとって、自身の衛星の環境負荷を定量的に認識できるという意味で、環境負荷低減への努力を促すという意味で、宇宙環境保全へのポジティブな影響は期待される。

## 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及び必要な検討・実行体制の検討

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に対して我が国がとるべき戦略・実行体制を提案する。

### 5.1. 戦略案の提示

#### 5.1.1. 我が国が重点的に対応すべき国際ルールや領域等の識別

前章に示した通り、今後ルール化が進む可能性が高く、影響度の大きい領域として、STM が識別される。そして、STM のキー技術となる SSA は今後ルール化に向けて発展する可能性が高いと考えられる。具体的には、表 4.1.2 に示した通り、SSA の観測技術の向上と、グローバルな観測ネットワークの構築等があり、これらは規格・標準になり得るものである。したがって、我が国が重点的に対応すべき国際ルールの候補領域としては STM が挙げられ、それに伴って重点的に対応すべき技術領域として SSA が挙げられる。

また、表 4.1.2 に示した通り、LCA、オゾン層問題、Dark and quiet sky の3つについても、近い将来、ルール形成がなされる可能性のある研究・開発分野と識別される。したがって、これらも、今後を見越した学術研究という点で対応すべきものに挙げることができる。

そして、現時点で重点的に対応すべきとまではいえないものの、表 4.1.1 に示した ESSI と IISL の認証機関設立の動き、UKSA らによる「Dark and quiet skies」規格の検討の動きは今後も注視しておく必要があると考えられる。

#### 5.1.2. 識別した国際ルールや領域に対する戦略および具体的な対応策の提案

まず、ESSI、IISL、UKSA の動きについては、上述の通り、標準化に向けて目立った動きとして、我が国産業振興への影響を注視しつつ、今後も情報収集を続けることが考えられる。

また、識別した研究・開発分野への対応策としては、表 5.1.1 の案が考えられる。総じて、情報収集を続けることで、国内外の様々な動きに対して、我が国産業振興へ資するような対応を迅速にできると考えられる。

表 5.1.1 識別した研究・開発分野に対する戦略・対応策の案

識別した研究・開発分野	戦略・対応策の案
STM および SSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 最新の国際動向の情報収集を継続する。</li> <li>- 特に、SSA の要素技術の向上とグローバルな観測ネットワークの構築（国際協力も含む）や、要素技術および観測手法等の規格・標準化の動きを注視していく。</li> <li>- また、国際的にもまだ進んでいない部分、例えば、小さな物体（数 cm 以下）に対する衝突リスク把握や対策についても、我が国独自に検討できる部分の有無や標準化の可能性について情報収集を行う。</li> </ul>
LCA、オゾン層問題、Dark and quiet sky	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 国内の研究の進捗状況、ならびに、最新の国際動向について、情報収集を継続する。</li> <li>- ルール化についても、我が国産業振興への影響を注視しつつ、国内外の最新動向について、情報収集を継続する。</li> </ul>

### 5.2. 検討・実施体制の提案

5.1.2 項では情報収集を中心とする対応策の案を示したが、これらを検討・実施する体制としては、有識者ヒアリングの結果も考慮すると、以下の案が考えられる。

- 1) 国内外の宇宙環境保全活動全体の動向を注視し、ルール形成戦略を検討する常設の組織を設置する。
- 2) 具体的には、①ルール形成戦略の研究者、②認証関係者、③宇宙分野の法務関係者、④宇宙技術の研究者、⑤衛星事業者（衛星開発、運用、利用等の事業者）、⑥宇宙環境保全関連事業者（例えば、PMD、ADR、SSA 等の事業者）がメンバーとなり、常に検討・議論ができる産学連携のネットワークを構築する。物理的な一か所に設置されたものである必要はなく、ネット上のバーチャルな組織でよい。ただし、必要なときに迅速に検討・議論ができる体制である必要はある。

- 3) ここで提案する組織については、STM を含む宇宙環境保全について、(a) ルール形成戦略、(b) 認証、(c) 法務、(d) 技術、(e) 産業振興の 5 つの分野について情報収集や検討を進めながら、5 分野が協力して 5.1.2 項に示した対応策を実践していく。
- 4) また、昨今は、ルール形成戦略室・標準化戦略室等の部署を設置している民間事業者も多いため、上記の組織が国際動向についての情報を各事業者のそれら部署等にも提供することで我が国産業振興を支援するとともに、各事業者からの依頼に応じて情報収集等を（有償含め）実施することも考えられる。

上記のような、いわゆるルール形成戦略の研究機関としては、海外では例えば以下のような機関が挙げられる。

1. ブルッキングス研究所<sup>[51]</sup>：米国のシンクタンク。主に経済（および税制）、大都市政策、ガバナンス、外交政策、世界経済、経済開発などの社会科学の研究・教育を行っており、経済研究、外交政策、ガバナンス研究、世界経済と開発、ブルッキングスメトロの 5 つの研究プログラムが走っている。
2. カーネギー国際平和基金<sup>[52]</sup>：国際関係のシンクタンクで、ワシントン D.C.に本部を置く。アフリカ、アメリカの国内政治、アジア、民主主義・紛争・統治、ヨーロッパ、中東、核政策、ロシア・ユーラシア、南アジア、技術と国際情勢の 10 個の研究プログラムが走っている。
3. 王立国際問題研究所（チャタム・ハウス）<sup>[53]</sup>：英国のシンクタンク。安全保障や経済・貿易、環境、健康、国際機関、政治・法律、社会、テクノロジーなど、様々な分野について、政策立案に向けた研究を中心に活動。
4. ランド研究所<sup>[54]</sup>：米国のシンクタンク。1200 名以上のエキスパートを有し、安全保障や教育・労働、健康、社会・経済等について研究。

また、宇宙関連の研究機関としては、ESPI、SWF、IISL の他、ジョージ・ワシントン大学の Space Policy Institute（宇宙政策の研究を専門とし、国際的な宇宙法や政策、規制のルール形成プロセスについての研究）、UC バークレーの Space Sciences Laboratory（宇宙科学に関する研究を行っており、宇宙のルール形成や政策に関連する研究プロジェクトの実施）、ASE<sup>[55]</sup>（Association of Space Explorers、宇宙探検家協会。35 の異なる国から 325 人以上の宇宙飛行士・宇宙飛行関係者が参加。STM やデブリに関する研究も実施）などが挙げられる。

国内では、多摩大学ルール形成戦略研究所<sup>[56]</sup>が挙げられる。同研究所はプロパーの教授 2 名と客員 27 名から成り、客員はルール形成の専門家だけでなく、工学、科学技術外交、国際標準、国際政策、安全保障、通商戦略、心理学、公共政策の研究者、政治家、ミュージシャンなど、幅広く集められている。そして、経済政策プログラム、影響工作プログラム（他国の世論形成や政策決定に影響を与える国家行動を研究するプログラム）、社会問題プログラム、そして、ソフトパワープログラム、戦略・地政学プログラムの計 5 つのプログラムを走らせている。

以上のような常設の組織を設置することで、他国が形成した、我が国産業振興に不利なルールに従わざるを得ない状況を避けることができ、国際動向に対応できる、あるいはリードできる、我が国産業振興に資する宇宙環境保全活動の取組が期待される。

他方、我が国において具体的にどのようなステークホルダ、予算等を前提にこのような組織、または機能が実現可能であるかについては、更なる検討が必要である。

# 付録

## A.1 海外動向調査概要

本調査研究では、以下の国際会議にて調査活動を行った。

- 1) International Astronautical Congress 2024 (IAC2024、2024年10月14～18日、ミラノ)
  - 2) IAA Space Debris and Sustainability Conference (SDS、2024年12月2～4日、香港)
  - 3) American Geophysical Union, Annual Meeting 2024 (AGU2024、2024年12月9～13日、ワシントンDC)
  - 4) 10th CNES Workshop on End of Life Satellites and Sustainable Technologies (2025年1月21～23日、トゥールーズ)
  - 5) UNCOPUOS/STSC (国連宇宙平和利用委員会/科学技術小委員会、2025年2月3～14日、ウィーン)
- その内容の概要を表 A.2.1～表 A.2.5 に示す。

表 A.2.1 IAC2024 での調査概要

会議目的	年に1度開催される、宇宙活動に関する世界最大の国際会議であり、各国・機関の宇宙開発計画、学術研究成果の発表、今後の宇宙に向けたビジョン形成等を目的として、世界の宇宙関係機関や企業、大学等の関係者が参加。IAA（国際宇宙アカデミー）も併せて開催された。
開催期間・場所	2024年10月14～18日、ミラノ
本事業との関連	2024年のテーマは「Responsible Space for Sustainability」であり、宇宙の持続可能性、宇宙環境保全に関連したセッションが多く設けられた。その中で、「宇宙環境保全」に関連した情報収集・意見交換を行うとともに、SSR協会とアジア太平洋での活動についての打ち合わせを実施した。
宇宙環境保全に関する国際ルールに関する特記事項	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) SSRのMission Indexを構成するパナメーターである“Space Capacity”はいまだ定量的な評価が議論のままであり、SSRが“Space Capacity”を主要パラメーターとして扱う限り、学術的な観点での議論は行えるものの、定められた「標準」及びそれを基にした「認証プロセス」としての活用は困難であることを確認した。なお、今回のIACでは“Space Capacity”に1セッションをとって議論が行われた。</li> <li>2) 宇宙機のLyfe Cycle Assessment (LCA) についてのセッションがIACに新設された。製造過程でのGHGの排出量算出の発表が多く、飛翔中あるいは回収に伴う評価は見られなかった。製造過程のLCAを評価モジュールとしてSSRに取り込む提案や評価プロセスの標準化に関する議論もみられ、今後注視が必要である。</li> </ol>

表 A.2.2 IAA Space Debris and Sustainability Conference (SDS) での調査概要

会議目的	<p>宇宙の持続可能性に関する最新のトレンドについて議論することを目的に、IAA、EPFL、香港大学の主催で初めて開催した国際会議。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) デブリの脅威の規模、リスク、コスト（モデル化、監視、測定）</li> <li>2) デブリの緩和策（どのようなプロセス/技術が利用可能か/開発中か?）</li> <li>3) データ収集とデータ共有（デブリ問題に対処するために不可欠な側面）</li> <li>4) 低軌道の国際規制（安全で持続可能な宇宙のための進歩、落とし穴、政策遵守と協力）</li> <li>5) 規制のない低軌道へのアクセスが地上からの天文学にもたらす脅威と啓発</li> <li>6) ADRの経済性</li> </ol>
開催期間・場所	2024年12月2～4日、香港
本事業との関連	宇宙環境関連分野で今後ルールメイキングが行われる可能性がある分野の動向調査、ならびに、SSRの分析結果・改善提案に関する発表を行った。
宇宙環境保全に関する国際ルールに関する特記事項	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 再突入による環境破壊（アルミナ等）に関してフランスが検討していることを確認した<sup>[50]</sup>。ただし、検討はしているものの、学術的な研究段階ではあり規制や標準等のルール化にはまだ課題が多いとのことであった。フランスは、IAAでStudy Groupを立ち上げることを検討しており、日本からの参加を期待している。</li> <li>2) SSRの分析結果・改善提案に関する発表に対しては、フランスから、「（SSRは必要ないと考えていたが）、提案通りに改善すれば利用する価値はある。SSRを「標準」とすることには反対だが、提案の通りにすれば有効な評価ツールとして活用できる。SSR協会にも申し入れる」との意見を得た。そして、フランスは実際にSSR協会代表に対</li> </ol>

	して「提案に従って改善すべき」と指摘し、その結果、SSR協会代表から、提案通りに改善する旨の申し入れを受けた。
--	---------------------------------------------------------

表 A.2.3 AGU2024 での調査概要

会議目的	地球科学に関する学術研究を発表・議論することを目的とした世界最大規模の国際会議。宇宙環境保全に関しても地球科学の視点で議論する国際会議である。
開催期間・場所	2024年12月9～13日、ワシントンDC
本事業との関連	宇宙環境関連分野で今後ルールメイキングが行われる可能性がある基礎科学分野の動向調査を実施した。また、先行事例調査として、科学研究を起点として環境保全で既にルールメイキングが行われている分野（地球温暖化等）の事例調査を行った。
宇宙環境保全に関する国際ルールに関する特記事項	<p>大規模コンステレーション及び打上げ機の増加に伴う各種の最新成果が発表された。その中で特筆すべきものとして、以下のものが挙げられる。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 過去に、米国ではスペースシャトルの初期に固体ロケットブースターのオゾン層破壊が懸念され、関連研究が行われた。その時点ではスペースシャトルの打上げ機数程度ではオゾン層はすぐに修復されるという結果であった。しかし、近年の打上げ機増加に伴い、当時の実測データの再評価が行われている。実測データでは明瞭にオゾン層の減少がみられる。今後、打上げ機数の増加に伴う、再評価の動向のフォローが必要である。</li> <li>2) 大規模コンステレーションの影響は打上げ機と異なり実測や定量評価が困難である。そこで、原子スケールの分子動力学シミュレーションを使用して、大気圏再突入時の衛星のアルミニウム含有量の酸化プロセスを調査した例がみられた。この研究では、2022年に再突入する衛星の数により、大気中のアルミニウムが自然レベルより29.5%増加し、中間圏に注入される酸化アルミニウムが約17トンになることを示していた。また、メガ・コンステレーションが実現する将来のシナリオでは、衛星の再突入によって生成される副産物は、年間360トン以上に達する可能性があり、酸化アルミニウムのナノ粒子は大気中に何十年も残留する可能性があるため、重大なオゾン層の破壊を引き起こす可能性を示唆していた。</li> <li>3) 一方、オゾン層の破壊量の定量的な評価や残留粒子（エアロゾル）による温暖化への影響評価は研究途上であり、ルールメイキングまでには時間を要すると推定された。</li> </ol> <p>環境保全で既にルールメイキングが行われている分野（地球温暖化等）の事例調査を行った。その結果は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 現在の地球温暖化の規制や抑止に関するルールは全て「積算方式」で行われており、衛星計測データや地上・航空機・ゾンデ等からの観測データを温暖化の規制・抑止にどのように反映するか未だ明確なルールがない。欧州では先行してルールメイキングとそれに伴う欧州産業の優位性確保の戦略が検討されているが、AGUではそれに関する議論は見られなかった。</li> <li>2) 一方、上記の計測方法についてAGUにおいても「標準化」を行い、計測機関間で共通の評価が可能となるようにすべきとの議論がみられた。宇宙環境保全のルールメイキングに対する直接的な「手本」にはならなかったものの、先行する「環境保全」のルールメイキングとして、議論やまとめ方、チーミングの方法等、今後の動向を注視する必要がある。</li> </ol>

表 A.2.4 CNES Workshop on End of Life Satellites and Sustainable Technologies での調査概要

会議目的	人工衛星の寿命終了時の技術（廃棄技術等）やアイデアについて議論し、宇宙の持続可能性における現在および将来の課題に対処する方法を探ること、ならびに、この分野の専門家間の協力と知識の共有を促進することを目的としたワークショップ。
開催期間・場所	2025年1月21～23日、トゥールーズ
本事業との関連	PMDに関連した技術や標準、best practice、再突入技術や再突入状況の観測等についての調査。人工衛星の信頼性やヘルスマニタリング、ADR等の終焉技術など、持続可能性に関連した技術についての調査。
宇宙環境保全に関する国際ルールに関する特記事項	<p>宇宙環境保全に関する課題について、以下の議論があった。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) これまで、大きさ10cm以上のデブリを注視してきているが、10cm以下への対策はどうするか課題が残っている。</li> <li>2) ADRのようなデブリ除去事業は「技術」と「レギュレーション」の両方が重要である。</li> <li>3) STM (STC) のようなホットなトピックについては新しいレギュレーションが必要だが、その際には技術イノベーションが重要となってくる。</li> </ol>

	<p>4) IADC ガイドライン<sup>[13]</sup>や ISO 24113:2019<sup>[18]</sup>では PMD 成功確率 90%を推奨してきた。FSOA に従って EOL 処理を行ったときの物体数のシミュレーションを、破砕無し、25 年ルール順守、Large コンステ無しという条件で行った結果、PMD 成功確率が 90%であれば、物体増加は緩やかとなることがわかった。その一方で、Large コンステがあり、破砕も起きると PMD 成功確率 90%であっても物体数は著しく増加することがわかった。したがって、軌道上でのライフサイクル（デブリにならない仕組み）が重要となる。</p> <p>5) コンステでは初期の段階で十分な非デブリ化対策を行う必要がある。LTS2.0 ではこのことを織り込み、宇宙活動に適用していく必要がある。UNSPACE IV が 2027 年に開催予定であり、STM 周りの技術対策も進められると推定される。</p> <p>6) STM には SSA が欠かせないが、ロシアの ISON、中国の APSCO は活発に活動し国際協力を行っている。先月の News Week でも報道されたが、中国がペルーに設置する望遠鏡は科学面を MIT が担当している。</p> <p>7) SSA は Global にみる必要があり、技術・設備を有しているところが強い。Global な SSA ネットワークを構築し、宇宙での事象を直ぐに把握できることが重要。例えば、技術・設備が無ければ民間の事故に関する責任を一方的に言われる可能性がある。</p> <p>8) 条件によってシミュレーションの結果は変わるが、今後 50 年で（デブリは）2 倍に増えることは確実であろう。</p> <p>9) ESSB-ST-U-007<sup>[36]</sup>では、LEO には 5 年ルールを適用し、衝突確率や近地点高度の要求も含めている。また、以下の項目をさらに詳細化する予定である：(a) clearance criteria、(b) probability successful design、(c) COLA（打上げを含む）および STM、(d) design for removal.</p> <p>10) CNES は FSOA 遵守のための 3 つのツール（STELA：軌道伝搬計算、ELECTRA：打上げ失敗時や宇宙機の再突入時のリスク計算、DEBRISK：空力効果を考慮したスペースデブリの大気圏再突入シミュレーションツール）を公開しているが、その詳細、特に、re-entry 評価に関するツールの詳細な説明があった。</p> <p>11) 衛星の EOL が近づいた時の Life Extension の方法を紹介。EOL の際に Life Extension を行う場合、推進薬残量の正確な把握は勿論であるが、他にもキーコンポーネントの動作の信頼性評価・確保が重要とのこと。</p> <p>12) 衛星の Life Extension の信頼性確保には現在のガイドラインでは十分でないとのこと。考えから、数学モデルを使って信頼性予測をしている大手企業の発表があった。信頼性予測はまだ十分なレベルには達していないとのこと。</p> <p>13) 国連から、「Sustainability に貢献する場合、インセンティブを与えるような仕組みも有効であり、その点で SSR は有効なツールの一例である。ただし、環境に対する影響が明確に示せるようにする必要がある」、との発表があった。</p> <p>14) デブリの発生要因のうち 8%はバッテリー起因であることから、破砕が起こらないバッテリーの開発を行っている、との企業による発表があった。</p> <p>15) Astroscale 社や GMV 社、Clearspace 社等による、ADR に関する研究・開発・実証に関する発表があった。</p> <p>16) CNES で研究している Debris Index の紹介があった。基本理論は SSR の Mission Index と同じであるが、仮定や破砕の進展等、細かな点で異なる。Debris Index の適用先として SSR で活用できる旨の紹介があった。</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

表 A.2.5 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を目的とした委員会。
開催期間・場所	2025 年 2 月 3～14 日、ウィーン
本事業との関連	宇宙環境保全に関連した議題、特に、「Dark and quiet skies, astronomy and large constellations: addressing emerging issues and challenges（議題 XIII.）」、「Long-term sustainability of outer space activities（議題 VIII.）」、「Space debris（議題、III.）」、及びこれらの議題において重要な技術基盤となる宇宙交通管理（STM）、宇宙状況認識（SSA）、その他、各国のステートメント等についての調査。
宇宙環境保全に関する国際ルールに関する特記事項	<p>[1] 各国等のステートメントは以下の通りに整理できる。</p> <p>(1) 今回から議題として設定された、Dark and quiet skies, astronomy and large constellations: addressing emerging issues and challenges（以下、Dark and quiet sky と記す）については、各国等から以下のようなステートメントがあった。</p> <p>1) 米国やフランス、オーストラリア、ドイツ、欧州天文学会（EAS）、宇宙世代諮問評議会（SGAC）が、大規模な衛星コンステレーションが天文学的観測に</p>

与える影響について議論し、光害や電波干渉の問題を提起。さらに、フランスは、自国で関連する宇宙機設計標準の策定を行っていることを紹介。

- 2) 中国やイタリア、チリ、メキシコ、スクエアキロメートルアレイ天文台（SKAO）も、光害や電波干渉の問題を提起し、暗く静かな空を保護するための国際協力の重要性を強調。
- 3) ニュージーランドやロシア、韓国、ブラジル、コロンビア、ペルー、国際天文学連合（IAU）も、大規模な衛星コンステレーションが天文学に与える影響を最小限に抑えるための技術的対策を提案。
- 4) 英国やスペイン、カナダ、南アフリカ、インドネシア、宇宙研究所（OSI）、アフリカ天文学会は、暗く静かな空を保護するための規制アプローチと技術革新の必要性を強調。

そして、ステートメント等の内容から、以下の共通意見を確認できる。

- 1) 近年、宇宙における通信やインターネット接続の需要が増加しており、多くの通信企業が大規模な衛星群を軌道上に展開している。これにより、天文学者たちが観測を行う際に大きな影響が出ている。各国等のステートメントでは、これらの問題の重要性を強調するとともに、大規模な衛星群が天文学的観測に与える潜在的な影響や課題について紹介している。各国とも本件を問題視しており解決策を策定すべしとの論調は共通している。
- 2) 大規模な衛星群や人工光による影響を最小限に抑えるために、天文学者や通信企業、政府機関などが協力して解決策を模索することが必要であるとしている。新たな技術や規制の導入、情報共有の重要性などが議論されており、天文学と大規模な衛星群が共存できる環境の構築、という点では一致している。

(2) LTS についての各国のステートメントの趣旨は次のように分類できる。

- 1) 米国、オーストラリア、イラン：新しい技術と政策の導入を提案。
- 2) オーストリア：技術開発と国際協力の必要性を強調。
- 3) 英国、ロシア、スペイン、サウジアラビア、UAE、エジプト：国際協力の重要性を強調（協力を呼びかけ）。
- 4) ニュージーランド：規制枠組みの必要性を強調。
- 5) 中国：国際的なガイドラインの重要性を強調。
- 6) フィリピン：教育と能力構築の重要性を強調。

そして、ステートメントの内容から、以下の共通意見を確認できる。

- 1) 宇宙活動の長期的な持続可能性に向けた枠組みの必要性：議論では、宇宙活動を持続可能な形で行うための国際的な枠組みや必要であり、その際、LTS ガイドラインが重要となる。
- 2) スペースデブリ対策の重要性：スペースデブリは宇宙空間での安全性や持続可能性に影響を与える重要な課題であり、スペースデブリの監視・追跡（SSA）や除去（ADR）の取り組みが必要である。
- 3) 国際的な協力と情報共有の重要性：宇宙活動の持続可能性を確保するためには、国際的な協力や情報共有が不可欠であり、国際社会が連携して宇宙空間の安全性や環境保護に取り組むことが重要である。

ただし、LTS ガイドラインについて重要性や国際的な協調の必要性は強調されつつも、具体的な **implementation** の促進や、SSA や ADR に関する新しいガイドライン項目の具体的追加についてはあまり強調されていない。

(3) スペースデブリに関する各国のステートメントの趣旨は次のように分類できる。

- 1) 日本や米国、米国、フランス、イタリア、スロバキアは、スペースデブリの管理と除去のための新しい技術と政策の導入を提案。
- 2) ニュージーランドやブラジルは、スペースデブリの増加に対する懸念とその管理のための技術開発の重要性を強調。
- 3) ロシア、サウジアラビア、イラン、インドネシアは、スペースデブリの管理と除去のための国際協力の必要性を強調（国際協力を呼びかけ）。
- 4) 中国やカナダ、韓国、インド、マレーシアも、スペースデブリの管理と除去のための技術開発と国際協力の必要性を強調。

そして、ステートメントの内容から、以下の共通意見を確認できる。

- 1) スペースデブリの増加とリスク：各国とも一般的な前置きで、スペースデブリのリスクの認識を国際社会と共有していることをアピールしている。
- 2) スペースデブリの監視と除去の必要性：スペースデブリの監視と追跡が重要であり、宇宙機器や人工衛星の運用におけるリスク管理に貢献する。さらに、

ADR 技術の研究と開発も進められており、ADR 活動が重要な課題となっている。

- 3) 国際協力と規制の強化：スペースデブリの問題は国境を越えるため、国際的な協力が不可欠である。国際社会による規制の強化や宇宙活動の持続可能性に向けた取り組みが必要。また、スペースデブリに関するデータの共有や情報交換も重要な要素となっている。
- (4) STM に関する各国のステートメントの趣旨は次のように分類できる。
  - 1) 日本やインド、韓国、インドネシアは、技術開発と国際協力の必要性を強調。
  - 2) イタリアは先進的な追跡システムの開発を提案。
  - 3) フランスやブラジルは国際的な枠組みの構築を提案。
  - 4) オーストリアやベラルーシ、コスタリカも国際協力の強化を呼びかけ。
  - 5) ロシアはデータ共有と国際協力の重要性を強調。

そして、ステートメントの内容から、以下共通意見を確認できる。すなわち、宇宙空間における活動の増加に伴い、宇宙空間での衝突リスクの最小化や持続可能な運用の促進、運用やデータ共有を調整するための国際的な枠組みの必要性が強調されている。またそれに伴う STM のルールの制定についても意見がだされている。

- (5) SSA に関する各国のステートメントの趣旨は次のように分類できる。
  - 1) 日本やフランス、イタリアは宇宙状況把握のための技術開発と国際的なデータ共有の重要性を強調。
  - 2) インドや韓国、インドネシアも技術開発と国際協力の必要性を強調。
  - 3) オーストリアやベラルーシ、コスタリカは国際協力の強化を呼びかけ。
  - 4) ロシアも監視システムの重要性と国際協力の必要性を強調。
  - 5) ブラジルは国際的な枠組みの構築を提案。

そして、ステートメントの内容から、以下共通意見を確認できる。すなわち、宇宙物体の追跡や識別、位置の把握によって、宇宙空間での安全性を向上させるため、SSA の技術強化、国際協調（特にデータ共有）は必須の課題であり、SSA は LTS ガイドラインの実装、スペースデブリ対策、Dark and quiet sky 等、環境保全に関する各種問題に対し重要な役割を果たす。

[2] 次に、上記の各項目の議論について、ルールメイキングの視点で整理すると、以下の通りとなる。

#### (1) Dark and quiet sky

30 以上の国や機関が意見表明をしている。ただ、今年から公式議題（5 年間で報告をまとめる）に上がったものであり、多くの国が Dark and quiet sky の保持と大規模コンステレーション等の宇宙開発とのバランスを良く配慮すべき、との抽象的な意見が多かった。但し、両者のどちらを重視するかは国・機関によって若干の温度差がみられた。また、Dark and quiet sky は単に天文の問題に限定されないとの意見も多くみられた（STSC の場なため明示は避けつつも（他国の）安全保障に関する衛星の識別・検知や自国の安全保障衛星からの観測に障害がでる、との意見と推定される）。

ロシアからは、Dark and quiet sky は大規模コンステレーションと天文学との問題にとどまらない。デブリ増加や小型衛星の増加による混雑に直結している問題である旨が主張され、この問題への取り組みを急ぐべきとの指摘があった。

イランからは、「天文への影響が大きい。光学、電波とも天文に影響を与える。デブリの発生源になる。衝突リスクも高まるし、打上げウィンドウも狭まる。大規模コンステレーションにはネガティブである。開発国にとっては宇宙利用機会が狭まる」、と Dark and quiet sky が深刻な問題であることが協調された。

ステートメントでは各国から「規制」と「新規技術開発の必要性」が表明されており、今後、ルールメイキングが図られる可能性があると考えられる。ロシアが指摘したように STM、デブリ低減への影響もあり、何等かのガイドラインが策定させていくことが考えられる。

フランスや欧州企業の EUTELSAT は、既に光度を抑える設計や設計段階で光度予測をするツールを整備しており、また、Dark and quiet sky と軌道決定の SSA 精度との二律背反の課題も検討している。EUTELSAT は、「我々は、Dark and quiet skies をさらに保護するための科学的調査の実施において、英国宇宙庁と協力している：

- ・ Study 1: 衛星の光学的輝度に関する「Dark and quiet skies」規格の第一次草案
- ・ Study 2: 天文観測に必要なエフェメリス・データの精度を理解するための研究と早くも UKSA と組んで「標準」の開発に取り組んでいるとのことである。

なお、2025 年 10 月のマンチェスターで Dark and quiet sky に関し UNOOSA によるワークショップが開催される予定である。

## (2) LTS2.0 WG の動向

現状の LTS のガイドラインへの追加ならびに活用促進策を策定する目的で WG 活動が開始され、今回の STSC へのレポートでは以下の内容が含まれる見込みである。

- 1) 現在の LTS ガイドラインではカバーできておらず課題として認識すべき事項
  - a) (大規模) コンステレーション：関連する規制、物体登録、(天文学の保護)、運用に関するコンタクトポイント、(主権の問題)、定義の必要性
  - b) SSA：情報共有、調整
  - c) 宇宙機のマヌーバ：(手順)、ルール、要求
  - d) 小型宇宙機の設計および運用
  - e) ADR
  - f) その他の軌道上運用
  - g) すべての国々、特に宇宙開発を行う新興国が、宇宙活動およびガイドラインの実施に包括的に参加することを保証すること
  - h) 能力開発と国際協力
- 2) 宇宙活動の安全とセキュリティの分野に関してカバーしていない事項。例えば、
  - a) 宇宙空間における悪影響の発生を防ぐための、国家の宇宙活動に対する自制措置の運用および技術的措置の実施
  - b) 外国の宇宙物体の運用への干渉の排除
  - c) 宇宙環境の改変を控えること
  - d) 他国の宇宙関連地上インフラおよび情報インフラの安全とセキュリティを尊重すること
  - e) 軌道上の宇宙物体を能動的に除去することを目的とした宇宙活動の準備と実施のための基準と手順を策定し、実施すること
  - f) 宇宙物体の破壊のための作業を安全に実施すること
  - g) 未登録の宇宙物体の能動的な除去と破壊のための適切な解決策
- 3) 推奨の可能性がある事項  
以下のものが挙げられている。
  - a) 複数のガイドライン領域に現れる課題 (LTS ガイドラインのテーマ A ~ D) に関する議論を含む、課題プロセス内で繰り返し指摘されているテーマのさらなる研究
  - b) 次のようなテーマ領域や潜在的な新しいガイドラインについて議論するための専門家グループの結成
    - i. SSA (情報の共有と調整を含む)
    - ii. 小型宇宙物体の設計と運用
    - iii. スペースデブリ低減、および、軌道上ミッション
    - iv. 深宇宙ミッションの持続可能性
    - v. 有人宇宙飛行の持続可能性に関する安全上の考慮事項
    - vi. Dark and quiet sky

なお、UAE から WG の下部組織として SSA に関する非公式コンサルティングを行うエキスパートグループ (EB) 設立の提案が上がっている。日本はじめ、賛同する国は多いが EB の役割と目的をより明確にすべきとの課題が上がっており。現状どのように動くか更に情報収集と分析が必要であると考えられる。

## (3) SSR 関連

ESA はゼロ・デブリ政策の技術報告を行ったが、SSR については言及が無かった。過去数年は SSR の開発を主導していることを報告していたが、ゼロ・デブリ政策関連の中で SSR の開発実績も活用計画等の紹介が何もなかったことから、ESA が SSR の活用をあまり検討していないことを示唆する可能性がある。

また、SSR 協会が本部をおくスイスからも特に言及はなかった。以前 (2022 年頃)、SSR 協会/EPFL はスイス代表枠で SSR の報告を行ったが、その後、現在までスイスから積極的な発言はない。

一方、英国は、宇宙環境保全に必要な組織構成や技術項目を整理していた。すなわち、Governance & Regulations、Modelling、Technology といった 3 点の重点分野を担当する組織とそれらの分野を横繋ぎするための Communication and Project Management 組織での活動が有効としており、それぞれの実施内容を定義している。ESSI との関連について言及はなかったが、今後の計画として、「規制ではなく、自主的/インセンティブに基づくもの」、「定量的指標と定性的指標の利用」等、英国が SSR 的

	<p>なものを考えているのは読み取れる。ESSI が英国の方針をどう取り込むのか注視が必要と考えられる。なお、英国は「SSR の活用」には言及していない。</p> <p>[3] ルールメイキングの見通し</p> <p>(1) SSR 及び SSR に類似したフォーラム標準の動向 SSR については STSC ではほぼ議論がないものの、上記[2](3)に示したように英国の動向については引き続き注視する必要があると考えられる。</p> <p>(2) 特に注視すべきと考えられる動向 上記[2](2)の LTS2.0 WG で「課題」として挙げられた項目は産業に影響を及ぼす項目であり、欧州、英国、米国等に動向を注視する必要がある。LTS の議論には STM、SSA、Dark and quiet sky も含まれており、LTS の議論を中心に各項目のルールメイキングの動向及び国内産業への影響を注視する必要がある。ドイツの「STM が最重要 ISSUE と考えている」との意見表明、イタリアの「SSA の能力向上が安全な運用のキーとなる」との意見表明、アラブ首長国連主導での SSA のエキスパートグループ設立提案等、動きが早い。LTS の議論は停滞しているものの、STSC において STM、SSA、Dark and quiet sky については特に注視すべきである。</p> <p>(3) 2024 年 10 月の Intelsat 33e の破砕について 2025 年 1 月の 10th CNES Workshop on End of Life Satellites and Sustainable Technologies では、CNES から TAROT 望遠鏡ネットワークを用いた観測結果の発表があった。その際に、CNES はこの事象がケスラーシンδροームを引き起こすことは少ない、としていた。それに対し、ロシアは STSC でテクニカルプレゼンテーションを行い、(他の破砕の観測データも併せて) 米国の破砕情報公開の不備とケスラーシンδροームを引き起こす可能性を示している。 <u>このように(自国・他国の)破砕事象の環境への影響への評価や原因特定、STM における衛星の安全運用、自国衛星の保全のいずれについても、高度な「SSA の技術」と観測ネットワークがないと正確な評価ができない。STM や宇宙環境保全のルール形成のための発言力を確保するためにも SSA をはじめとした技術力の充実は不可欠と推定される。</u></p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## A.2 有識者ヒアリング概要

本調査研究では、5 名の有識者に対し、宇宙環境保全の国際ルールの最新動向に関連したヒアリングを行った。表 A.2.6～表 A.2.10 に個々のヒアリング内容の概要を示す。

表 A.2.6 有識者 A ヒアリング概要

専門等	標準化による国際ルール形成、産業政策等
ヒアリングのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現在、発展初期段階にある分野において、ルールメイキングの観点で我が国がとるべき戦略について</li> <li>・ SSR のような、宇宙環境保全に関するルールを認証に結び付けた事業が既に走り始めている中で、我が国が取り得る対応策について</li> </ul>
コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ SSR のように既には知り始めている認証事業に後から参画して自分たちの意見を取り込んでもらうことは、一般的には難しいが、例えば、以下の戦略が考えられる。 <ul style="list-style-type: none"> <li>- キーパーソンとなる方との関係を築き、その方と調整しながら意見を主張していく。</li> <li>- 別のフォーラム標準をつくる(そして、新しい認証事業を立ち上げていく)。</li> <li>- ISO に提案し、ISO の場で自分たちの意見を主張していく。</li> </ul> </li> <li>・ 今後の宇宙環境保全に関連したルールメイキングについては、以下の点を考慮するとよいだろう。 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 調達力の高い企業や国の積極的参加を得るとよい。</li> <li>- 民間企業の経済的利益をできるだけ具体的に(ステークホルダ別に)見えるようにするとよい。</li> <li>- 国内外の仲間づくりが大切。その際、ステークホルダ全体の利害関係を考慮して、仲間を徐々に大きくする戦略を立てるとよい。</li> </ul> </li> <li>・ 新しい分野に必要な機器の規格や標準をつくることで我が国が世界をリードすることはあり得る。例えば、SSA 用の望遠鏡の規格をつくるなど。認証まで行って世界をリードすることは容易ではないだろうが、規格であれば可能性は高い。</li> </ul>

表 A.2.7 有識者 B ヒアリング概要

専門等	SSA に関する政策研究
ヒアリングのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>STM、SSA に関する国際ルールの今後の見通し</li> <li>SSR のような、宇宙環境保全に関するルールを認証に結び付けた事業に対する所感</li> </ul>
コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>SPD3 に基づき、国際的な STM の議論がなされており、マニュアル作りが進んでいる。STM の肝となるのが SSA とデブリ問題と考えている。</li> <li>“軌道上サービスガイドライン” では、接近運用を行う場合には SSA 機関・事業者と契約し、SSA サービスを使って運用する、ということになっている。</li> <li>国内にも SSA をやっている企業はいくつかある（事業としてではなく自社の衛星用に SSA を用いることも含めて）。</li> <li>SSA を用いた事業としては、海外には、衛星が電気推進で高度を上げるときに「見守りサービス」を提供している企業もある（CSpOC の情報では不十分とする企業もあり、そういった企業に提供している）。</li> <li>SSA の場合、座標系が違うだけでもデータのやりとりが大変になる。そういった技術的なスタンダードを揃えれば、グローバルなサービスを展開しやすくなるだろう。</li> <li>また、世界的に見ても、地球全球を完全にカバーしている SSA 機関・事業者があるわけではないようである。SSA の場合、枠組みの構築が重要であり、アジア・太平洋地域でネットワークを組むことが考えられ、例えば、APRSF で議論できる可能性がある。</li> <li>なお、天文分野では、天体を発見・観測・追跡するために組織された国際的なプロジェクトとして、国際科学光学ネットワーク（ISON）がある。</li> <li>国際ルールメイキングについては、ルールに対して意見を主張できることが重要である。国内に技術とルールの両方をもっていれば、主張できるだろう。実際、例えば、軌道上サービスに関しては、日本はそれができているように見受けられる。</li> <li>宇宙機の破砕や宇宙機同士の衝突等、何かトラブルが発生した際、具体的に何が起こったのか、自分が情報を持っていないと、先方の主張に反論ができず、不利益を被る可能性がある。その意味でも、SSA の技術を有していることは重要。</li> <li>一般に、ルールメイキングは時間がかかり、そこでは人づくり、人脈づくりが重要となる。それゆえ、これに特化した組織、ミッションを与えられた人が対応し続けられるとよい（実際、長く同じことをやっている人が欧州には多い）。</li> <li>したがって、常設の機関（シンクタンクというよりは、実務的な機関）が必要ではないか。標準を作ることができて、かつ、技術もわかるチーム（技術者、法務関係者、認証関係者からなるチーム）であるとよいのではないか。</li> <li>SSR にも DIT モジュールの評価項目には SSA サービスの基準があり、これは参考になる。SSR は「望ましい姿」を描いており、点数化には課題がないわけではないが、基準を設けている点は有用である。</li> </ul>

表 A.2.8 有識者 C ヒアリング概要

専門等	SSA 事業者
ヒアリングのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>SSA、STM、宇宙環境保全に関する国際ルールの最新動向及び産業化の見通し</li> <li>国際ルールが我が国企業や政策に与え得る影響や必要な検討・戦略・実行体制について</li> </ul>
コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>SSA のデータ標準については CCSDS の年 2 回の会合（アメリカと欧州）で議論されており、ISO にも反映されている。海外では民間企業も参加しているが、国内企業は参加していない。このような議論に国内企業の情報を取り込めるようになるとよい。</li> <li>海外では SSA 事業者がコンステレーションの運用（特に、衝突回避運用）を担当している事例もある。日本でも、SSA を利用したコンステレーションの運用技術の開発が必要になってくる可能性がある。</li> <li>これも含めて、軌道上での life cycle 技術（デブリ低減技術、デブリにならない技術）が日本でも高まるとよいであろうし、そういった意味で、衛星事業者・運用者は人工衛星の軌道把握能力をより向上させる必要が出てくるだろう。</li> <li>実際、海外では、そういったコンステレーション事業者が中心となって、オペレーションのルール（ベストプラクティス、ガイドラインのようなもの）を民間主導で作っていく。一般に、このような場合、民間がルールを作った後、政府がそれを国内で法制化し、さらに、それを海外に展開する可能性はある。</li> <li>国連では LTS2.0 を議論しており、現在、LTS のインプリメンテーションの情報を集めている。（<a href="https://spacesustainability.unoosa.org/content/multimedia-0">https://spacesustainability.unoosa.org/content/multimedia-0</a>）。</li> <li>UNISPACE IV が 2027 年に開催される予定で、STM がアジェンダの 1 つになっており、日本の提案で、ADR がテーマの一つとなっている。他の STM 関連技術の扱いについても注視する必要があるだろう。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>海外では、天文観測用の望遠鏡を設置し、それを SSA にも用いる動きがあるようである。SSA に関しては、グローバルに観る設備をもつことで発言力をつける（ルールメイキングを主導していく）、という流れになるかもしれない。このやり方は、宇宙環境保全全体にも言えるのではないか。</li> <li>小さな物体に対する衝突リスクの把握や対策に関しては、国際的にも標準はまだない。ここを日本が主導できればよいかもしれない。</li> <li>実際、海外には 2cm 程度のものを観測できる SSA 事業者があるとされているが、どこまで品質評価ができているのか、どこまで衝突回避運用に利用できているかは、オープンにはなっていない。このような観測技術の開発は今後重要になるかもしれない。ない、米国では 10cm 以下の物体の観測についてプロジェクトを組んでやっている (<a href="https://www.iarpa.gov/index.php/research-programs/SINTRA">https://www.iarpa.gov/index.php/research-programs/SINTRA</a>)。</li> <li>欧州に関しては、EU の STM 政策が着々と進んでいる感がある。英国に加えて、EU の情報も収集するとよいだろう。</li> <li>日本でも、一部の衛星事業者は、JAXA のデブリ接近衝突確率に基づくリスク回避支援ツール「RABBIT」を用いて衝突回避運用をしている。EU では衝突回避引用の体制が整っているようである。</li> <li>ルールを主導するためには、周囲の動向を知り、自身の持つ技術の位置づけを知っておくことが重要。技術を持っているだけでは難しい。</li> </ul>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

表 A.2.9 有識者 D ヒアリング概要

専門等	デブリ問題
ヒアリングのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>いわゆる Debris Index などに関し、国際的にコンセンサスの得られた定量化手法を認証に利用できる可能性について</li> <li>SSR のような、宇宙環境保全に関するルールを認証に結び付けることについて</li> </ul>
コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debris Index については、2010 年頃の段階では、海外ではあまり賛同が得られる状況にはなく、特に、固体ブースターに不利な指標という受け止められ方がされていたように思われる。</li> <li>当初の Debris Index は、一個の物体が軌道上の寿命中に発生する物体の数と定義されていた。その際に考慮されたのは衝突と爆発であり、回避動作の可能性と推進剤枯渇に対しては係数を乗じることで軽減されていた。衝突頻度は高度で違うため、軌道寿命中に高度が変わる物体については積分により Debris Index を求める。</li> <li>SSR の Mission Index も、計算法や根拠、数値例を提示することで周囲からの理解を得やすくするとよいのではないか。</li> <li>当初、小型衛星によりデブリが多く生じているという認識が一部にあったが、実際には、小型衛星や CubeSat の Debris Index の値は小さく、比較的大型で低軌道の衛星の値が大きくなることを示した<sup>[57]</sup>。なお、静止衛星はその高度の物体密度が低いために小さな値に留まる。</li> <li>最近の状況に Debris Index 等を適用する場合には、単発の衛星とラージ・コンステレーションとで重みづけを適切に変える必要がある。</li> <li>固体ロケット等から排出されてオゾン層に影響を与えるとされているアルミナについては、その環境への影響を定量的に評価することは容易ではないため、排出量だけで評価することも考えられる。</li> <li>衝突回避のルールに関しては、海洋法との比較がよくされるが、船舶の場合には二次元での回避であるのに対し、人工衛星の場合には三次元での回避であるという違いがあること、人工衛星の場合、回避能力を持っていたとしても、通信途絶等の不具合により回避できないことがあることなども考慮に入れる必要があるだろう。</li> <li>ADR 技術は重要であり、過去にも研究はされていたが、最近ではサービス事業化されており、国内では法整備もなされていて、喜ばしいこと。</li> <li>一般に、技術もルールも透明性が重要。技術については特許等も含め、中身の開示が困難であろうが、技術の中身ではなく、技術の結果として現れることを評価すればよいのではないかと考えられる（例えば、その技術によって、宇宙環境保全に関してどのような効果があったのかを論じるなど）。</li> <li>いわゆる 25 年ルールのきっかけとなったのは、宇宙空間におけるある物体分布モデルを用いて、軌道寿命と衝突確率との関係を計算したところ、25 年を境に、衝突確率が大きく下がったからとされている。ただし、PMD は考慮していない。当時と現在とでは宇宙環境が異なるので、いま、同じ計算をすると、もっと短い年数になると予想される。</li> <li>SSR のように宇宙環境保全に関する活動にインセンティブを与えることは、インセンティブ自体に加えて、警告という意味でも大事である。実際、衛星事業者にとって、「自分たちの衛星が宇宙環境に対してどのくらい悪影響を及ぼすものなのか」を確認・自覚することは大事。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>SSR の Mission Index<sup>[58]</sup>については、高度 700km 以下ではかなり小さな値になっている点が気になる。2017 年の論文をベースにしているように読めるが、その頃はまだラージ・コンステレーションが実現していないので、現在の状況を踏まえると、異なった値になる可能性がある。</li> </ul>
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

表 A.2.10 有識者 E ヒアリング概要

専門等	宇宙環境保全問題（海外）
ヒアリングのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>主に欧州・フランスにおける宇宙環境保全に関する国際ルールの最新動向について</li> <li>SSR のような、宇宙環境保全に関するルールを認証に結び付けることについて</li> </ul>
コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>SSR は、3 つの課題（表 2.2.1）を解決すれば、有効な評価ツールとして活用される可能性がある。</li> <li>フランスでは、宇宙機の再突入が宇宙環境に及ぼす影響（アルミナ等による影響）について学術研究が進められている。まだ規制や標準等のルール化には至っていない。IAA で Study Group を立ち上げることを検討中である。</li> <li>今後は、デオービットにより再突入した衛星が確実に燃え尽きて残留しないようにするための設計 “Design for Non-Demise” (D4ND) が重要となる。そのための研究を進め、メガ・コンステレーションが広がる前に、適切な勧告をする必要がある。</li> </ul>

## 参考文献

以下、ウェブサイトの最終閲覧日は 2025 年 2 月 28 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] Space Sustainability Rating, “Rated Entities”, URL: <https://spacesustainabilityrating.org/rated-entities/>.
- [4] SSR Association, “Space Sustainability Rating Announcement”, July 8, 2024, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=2rF43GoCtqM>.
- [5] Marnix Hendrik Gustaaf Verkammen, et.al., “Meta-study of current proposed life cycle assessment single-score methodologies for space missions' eco-design”, IAC-24,D2,9-D6.2,5,x84809, 75th International Astronautical Congress 2024, November 2024.
- [6] Angelina Frolova, et.al., Streamlining Life Cycle Assessment Framework for Space Missions at Early Design Stages: Insights from the CHESS Cubesat Mission, IAC-24,D6,2-D2.9,6,x85483, 75th International Astronautical Congress 2024, November 2024.
- [7] IAC session 2-D2.9, Sustainable Approaches and Impact of Space Transportation Solutions on Earth + Space Environment and on General Safety, November 8, 2024,  
URL: <https://iafastro.directory/iac/browse/IAC-24/D6/2-D2.9/>.
- [8] IAA Space Debris and Sustainability Conference website, URL: <https://iaaspace.org/event/space-debris-and-sustainability-conference/>.
- [9] Space Sustainability Course - how to design more sustainable missions?, EPFL website, URL: <https://www.formation-continue-unil-epfl.ch/en/formation/space-sustainability/>.
- [10] ESA, ESA’s Annual Space Environment Report, 23 September 2023,  
URL: [https://www.sdo.esoc.esa.int/environment\\_report/Space\\_Environment\\_Report\\_latest.pdf](https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf).
- [11] 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）報告書, 表 2.2.5, 6 ページ, 2024.  
URL: [https://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/2023FY/000385.pdf](https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2023FY/000385.pdf)
- [12] Adrien SAADA, et.al., Promoting responsible space practices: A primer on the Space Sustainability Rating, Aerospace Europe Conference 2023 – Joint 10th EUCASS and 9th CEAS.
- [13] IADC, Mitigation of Orbital Debris in the New Space Age, FCC 22-74, 30 September 2022. URL: [https://iadc-home.org/documents\\_public/view/page/2/id/172#u](https://iadc-home.org/documents_public/view/page/2/id/172#u).
- [14] FCC, IADC Space Debris Mitigation Guidelines (Revision 3), IADC-02-01, 23 June 2021. URL: [https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-22-74A1\\_Rcd.pdf](https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-22-74A1_Rcd.pdf).
- [15] 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>.
- [16] UNOOSA, Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 2021. URL: [https://www.unoosa.org/documents/pdf/PromotingSpaceSustainability/Publication\\_Final\\_English\\_June2021.pdf](https://www.unoosa.org/documents/pdf/PromotingSpaceSustainability/Publication_Final_English_June2021.pdf).
- [17] 宇宙政策委員会 第 81 回会合参考資料 6, 宇宙活動に関する長期持続可能性 (LTS) ガイドライン,  
URL: <https://www8.cao.go.jp/space/comittee/dai81/sankou6.pdf>.
- [18] ISO 24113 2019, Space Debris Mitigation Requirements (Edition 4), 1 May 2023. URL: <https://www.iso.org/standard/83494.html>.
- [19] JAXA-JMR-003E: Space Debris Mitigation Standard, 27 April 2023.  
URL: <https://sma.jaxa.jp/TechDoc/Docs/JAXA-JMR-003E.pdf>.
- [20] 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>.
- [21] 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](https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/usg_orbital_debris_mitigation_standard_practices_november_2019.pdf).
- [22] 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>.
- [23] ESA, Zero Debris Charter, 2023.  
URL: [https://esoc.esa.int/sites/default/files/Zero\\_Debris\\_Charter\\_EN.pdf](https://esoc.esa.int/sites/default/files/Zero_Debris_Charter_EN.pdf).
- [24] ESA, Zero Debris Technical Booklet, January 2025.  
[https://esamultimedia.esa.int/docs/spacesafety/Zero\\_Debris\\_Technical\\_Booklet.pdf](https://esamultimedia.esa.int/docs/spacesafety/Zero_Debris_Technical_Booklet.pdf)
- [25] 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>.
- [26] France, French Space Operations Act, URL: <https://www.connectbycnes.fr/en/foa>.
- [27] B. Lazare, The French Space Operations Act: Technical Regulations, Acta Astronautica, Vol. 92, pp. 209–212, 2013. DOI: 10.1016/j.actaastro.2012.07.031.
- [28] National Standard on the Russian Federation, General Requirements on Space Systems for the Mitigation of Human-Produced near-Earth Space Pollution, 2009.
- [29] S. Loginov, et.al., National Standard of the Russian Federation for Space Debris Mitigation, 5th European Conference on Space Debris, 2009.  
URL: <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc5/paper/62/SDC5-paper62.pdf>
- [30] Space Safety Coalition, Best Practices for the Sustainability of Space Operations. URL: [https://spacesafety.org/wp-content/uploads/2023/04/SSC\\_Best\\_Practices\\_for\\_Space\\_Operations\\_Sustainability\\_v29.pdf](https://spacesafety.org/wp-content/uploads/2023/04/SSC_Best_Practices_for_Space_Operations_Sustainability_v29.pdf).
- [31] FAA, 51 U.S. Code Subtitle V, Chapter 509 Commercial Space Launch Activities,  
URL: <https://www.law.cornell.edu/uscode/text/51/subtitle-V/chapter-509>.
- [32] 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](https://www8.cao.go.jp/space/application/space_activity/documents/guideline4_2205.pdf).
- [33] 内閣府宇宙開発戦略推進事務局, 人工衛星等の打上げに係る許可に関する ガイドライン (改訂第 2 版), 2021 年 11 月 10 日.  
URL: [https://www8.cao.go.jp/space/application/space\\_activity/documents/guideline1.pdf](https://www8.cao.go.jp/space/application/space_activity/documents/guideline1.pdf).
- [34] 人工衛星等との衝突防止に係るガイドライン (初版), 2025 年 2 月 27 日.  
URL: [https://www8.cao.go.jp/space/application/space\\_activity/documents/ca\\_guideline.pdf](https://www8.cao.go.jp/space/application/space_activity/documents/ca_guideline.pdf).
- [35] 内閣府宇宙開発戦略推進事務局, 軌道上サービスを実施する人工衛星の管理に係る許可に関するガイドライン (初版), 2019 年 9 月 14 日.  
URL: [https://www8.cao.go.jp/space/application/space\\_activity/documents/guideline\\_oosgl.pdf](https://www8.cao.go.jp/space/application/space_activity/documents/guideline_oosgl.pdf).
- [36] ESA Space Debris Mitigation Working Group, ESA Space Debris Mitigation Requirements, October 2023. URL: <https://technology.esa.int/upload/media/ESA-Space-Debris-Mitigation-Requirements-ESSB-ST-U-007-Issue1.pdf>.
- [37] ESSI, Memorandum of Principles for Space Sustainability, June 2023. URL: <https://www.essi.org/memorandum>.
- [38] HM government, Space Regulatory Review 2024, May 2024.  
URL: [https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6644d26fb7249a4c6e9d3597/space\\_regulatory\\_review\\_2024.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6644d26fb7249a4c6e9d3597/space_regulatory_review_2024.pdf).
- [39] AIAA, Satellite Orbital Safety Best Practices, September 2022. URL: <https://assets.oneweb.net/s3fs-public/2022-09/Satellite%20Orbital%20Safety%20Best%20Practices.pdf>.
- [40] CONFERCE, Guiding Principles for Commercial Rendezvous and Proximity Operations (RPO) and On-Orbit Servicing (OOS), October 2021. URL: [https://www.satelliteconfers.org/wp-content/uploads/2021/11/CONFERS-Guiding-Principles\\_Revised-Oct-21.pdf](https://www.satelliteconfers.org/wp-content/uploads/2021/11/CONFERS-Guiding-Principles_Revised-Oct-21.pdf)
- [41] ESA, Zero Debris Approach.

- URL: [https://www.esa.int/Space\\_Safety/Clean\\_Space/ESA\\_s\\_Zero\\_Debris\\_approach](https://www.esa.int/Space_Safety/Clean_Space/ESA_s_Zero_Debris_approach).
- [42] GSOA, Code of Conduct on Space Sustainability, <https://gsoasatellite.com/wp-content/uploads/GSOA-Code-of-Conduct-Paper.pdf>.
- [43] Hague Institute for Global Justice, The Washington Compact on Norms of Behavior for Commercial Space Operations, February 2023.  
URL: <https://thehagueinstituteforglobaljustice.org/portfolio/the-washington-compact/>.
- [44] Paris Peace Forum, Net Zero Space Initiative. URL: <https://www.netzerospaceinitiative.org/>.
- [45] SIA, Principles of Space Safety for the Commercial Satellite Industry, October 2019.  
URL: [https://sia.org/space\\_safety/](https://sia.org/space_safety/).
- [46] Space Safety Coalition, Best Practices for the Sustainability of Space Operations, version 2.39, November 2024. URL: <https://spacesafety.org/best-practices/>.
- [47] Sustainable Markets Initiative, Astra Carta.  
URL: [https://www.sustainable-markets.org/AstraCarta\\_charter.pdf](https://www.sustainable-markets.org/AstraCarta_charter.pdf).
- [48] World Economic Forum, Space Industry Debris Mitigation Recommendations, June 2023. URL: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Space\\_Industry\\_Debris\\_Mitigation\\_Recommendations\\_2023.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Space_Industry_Debris_Mitigation_Recommendations_2023.pdf).
- [49] PIRG website, 120 top astronomy researchers call on FCC to study satellite mega-constellations, October 2024. URL: <https://pirg.org/articles/120-top-astronomy-researchers-call-on-fcc-to-study-satellite-mega-constellations-spacexs-starlink/>
- [50] Christophe Bonnal, Atmospheric reentry of orbital objects: Can “Design for Non-Demise” D4ND be the optimal solution?, IAA Space Debris and Sustainability Conference, December 2024.
- [51] ブルッキングス研究所ウェブサイト。URL: <https://www.brookings.edu/programs/governance-studies/>.
- [52] カーネギー国際平和基金ウェブサイト。URL: <https://carnegieendowment.org/programs-and-projects?lang=en>.
- [53] 王立国際問題研究所ウェブサイト。URL: <https://www.chathamhouse.org/>.
- [54] ランド研究所ウェブサイト。URL: <https://www.rand.org/>.
- [55] 宇宙探検家協会ウェブサイト。URL: <https://www.space-explorers.org/stm>.
- [56] 多摩大学ルール形成戦略研究所ウェブサイト。URL: <https://crs-japan.org/>.
- [57] Tetsuo Yasaka, Can we have an end to the debris issue?, IAC-11-A6.5.1, 62<sup>nd</sup> IAC, 2011.
- [58] SSR website, Mission Index, URL: <https://spacesustainabilityrating.org/the-rating/modules-mission-index/>.