

SSR (Space Sustainability Rating) に対する日本の課題と今後の取り組み

日本大学理工学部 特任教授 宮崎 康行
学習院大学法学部 教授 小塚 荘一郎

1. SSRとは?

宇宙ビジネスの加速・拡大により、スペースデブリの問題はいよいよ待ったなしの状況になっています。これに対し、日本では2019年、宇宙政策委員会の下にスペースデブリに関する関係府省等タスクフォースが設置され、国がスペースデブリに関する取り組みを主導していますが、国際的には、スペースデブリ問題に対する具体的なアクションの一つとしてSSR (Space Sustainability Rating) が動き始めています。SSRとは、その名の通り、「格付け」です。具体的には、衛星運用者が行う個々のミッションに対して、衛星の打上げから廃棄に至る間にそのミッションが宇宙環境に与える影響を指標化 (点数化) し、その値に応じて、そのミッションの宇宙環境の持続的利用への貢献度合いを格付けするものです。ただし、ISOのような国際標準ではなく、有志による、いわゆるフォーラム標準であり、現在のところは、衛星運用者は格付けの有無や格付けのレベルによって特に制約を受けることはありません。また、格付けを与えられるのは衛星や打上げ機そのものではなく、衛星運用者であることにSSRの特徴があります。

SSRは、世界経済フォーラム (WEF) が発案し、2019年5月の国際フォーラム「Satellite

2019」でWEFがSSRを開発・推進することを発表したことで、一般にも注目されるようになりました。具体的な点数化の方法や運用方法の検討は、MIT、テキサス大学、BryceTech社やESAが中心となって進められました (日本からも経済産業省宇宙産業室やいくつかの企業が議論には参加しています)。その検討結果として、2021年4月にESAが主宰したSSRに関するワークショップ^[1] やスペースデブリに関するワークショップ^[3] にてSSRのフレームワークが示されました。そして、2021年6月には、翌2022年前半からSSRを始めること、ならびに、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SSR運営機関に選定されたことがWEFから正式にプレスリリースされました^[4]。

そこで、本稿では、格付けの方法と、それに対して想定される日本の課題を述べさせていただき、最後に、筆者らが現在検討している、SSRに対する取り組みについて簡単にご紹介します。

2. 格付けの方法

上記の通り、SSRはフォーラム標準であり、格付けを希望する衛星運用者が自主的に運用機関であるeSpaceに申請し、申請内容からeSpace側が評価 (査定) をし、格付け結果を

衛星運用者に提供するというものです。本稿執筆時点では、筆者らの知る限り、具体的な申請費用や申請から格付けを得るまでの期間についての情報は公開されていないようです。一方、格付けの方法については、文献[1]、[3]にその概要が示されていますので、以下に簡単にご紹介します。

①まず、申請者は次の1~6のデータをeSpaceに提出します。

1. ミッションインデックスに関わる以下のデータ（これらのデータを元に、eSpaceが破砕等により衛星や打上げ機から出される破片のリスクを評価する）
 - a. 質量、断面積、運用時の平均高度、軌道傾斜角、廃棄時の目標軌道（遠地点と近地点）、および、廃棄の成功確率
 - b. リスク低減対策を施した場合の衝突リスクの値
2. 検出・追尾・同定に関する以下のデータ（これらのデータを元に、eSpaceが衛星の検出・追尾・同定の容易さを評価する）
 - a. 衛星の大まかな形状（例えば、円筒、直方体、等）とサイズ、ならびに、可能であれば、簡略化されたCADモデル（概形・サイズ）や詳細なCADモデル
 - b. 運用時の軌道要素、主ミッション遂行時の衛星に姿勢・指向要求
 - c. ミッションに用いる衛星数および打上げ機からの放出過程、運用軌道に到達するまでの初期運用の詳細
 - d. 追尾手順や軌道上の宇宙機の画像もしくは電波による特徴確認の方法
3. 衛星運用者の衝突回避能力に関する以下の情報
 - a. 運用時の衛星軌道データ獲得能力（軌道データの精度・分散値、データ更新頻度等）
 - b. 衝突回避への対応能力、および、従来の衝突警報発出システムとの調整能力
 - c. 定常運用後の衛星軌道データ獲得（実施する場合）
4. 以下に関連した衛星データを他の関係者と共有できるか否かの情報
 - a. 衝突回避調整（担当者情報や運用時間等）
 - b. 衛星の天体歴に関する情報（軌道情報、打上げシーケンス、軌道変更の予定等）
 - c. 衛星の特徴に関する情報（質量、運用状況、軌道変更能力等）
 - d. 周波数や衛星の不具合データ、学術研究等に寄与するデータ
5. 以下の設計／運用標準に適合しているか否かの情報
 - a. IADC（国際宇宙機関間スペースデブリ調整委員会）やUNCOPUOS（国連宇宙空間平和利用委員会）によるスペースデブリ低減ガイドライン^{[5]、[6]}
 - b. UNCOPUOSによる宇宙活動の長期持続的性ガイドライン
 - c. ISOやFSOA（French Space Operation Act）、NASAによるスペースデブリ低減に関する標準、その他検証が可能な法律
 - d. ITU（国際電気通信連合）の規定やCCSDS（宇宙データシステム諮問委員会）による運用の標準プロトコル等
 - e. 他の宇宙物体に接近したりランデブーをする場合には、CONFERS（ランデブーや軌道上サービスに関するコンソーシアム）等の安全標準

また、これらに加えて、以下の情報

 - f. 上記a~eのテーラリングでの対応の有無
 - g. 衛星の打上げ機関がUNOOSA（United Nations Office for Outer Space Affairs、国連宇宙部）の宇宙物体登録の有無
6. 追加として、以下の情報
 - a. 軌道上サービス（軌道上での修理、燃料

補給、性能強化等)に対応した設計の有無

- b. 標準的な軌道上サービスのインターフェースの有無
 - c. 実際に軌道上サービスを受ける意思の有無
 - d. 運用終了後、能動的に衛星を除去する(いわゆるactive removal)用意の有無
- ②eSpaceが、①の1~6のそれぞれのスコアを算出します。その際、1と2は正規化します。正規化方法は文献[3]に記載されています。
- ③そして、申請者である衛星運用者が提出した①の1~6の内容それぞれの検証についてもスコアを算出します。具体的には、a. 衛星運用者自身によるものなのか、b. 技術文書で評価内容を示してあるのか、c. その技術文書を公開できるか、d. 外部からの技術評価を受けているのか、の順にスコアがよくなるようになっていきます。
- ④②と③により、①の1~6のそれぞれについてスコアが出ますが、本稿執筆時点では、1は50%、2~4は15%、5が5%、そして、ボーナス点である6も5%に換算して合計することで、合計点が0~1点になるようにする予定とのことです。
- ⑤こうやって求めた評価点に基づいて、「Certified」、「Silver」、「Gold」、「Platinum」の4段階に格付けを行います。

3. SSRの現在の状況

文献[1]には、CubeSat、静止衛星、地球観測衛星、低軌道での衛星コンステレーションについての格付け例が示されていますが、2章に示した②の具体的な計算式はあまり示されていないのが現状です。特に、1のミッションインデックスについては、衛星の破砕リスクなどが計算されていますが、計算の具体的な中身は明示されていません。

例えば、②の1のミッションインデックス(破片リスク)の概念は、九州大学名誉教授の八坂哲雄先生が元々提唱された「デブリインデックス」そのもので、その具体的な計算方法や、その背景となる、軌道上デブリの推移モデル等も学術論文として公開されています^{[8]-[12]}。また、SSRのような格付の考え方も八坂先生が提唱されていた概念です。できれば、こういった、論文で公開されている計算手法がSSRに採用されてほしいところですし、さらに言えば、SSRのような仕組み自体を日本が主導的立場で立ち上げることができればよかったのだらうと思います。

なお、本稿執筆時点では、実際の運営に関してeSpaceから具体的なアナウンスはなされていませんが、2022年早々には申請方法や申請書等が公表されると予想されます。

SSRが、今後どのように利用されていくのかは、まだ明確に示されていません。推進者たちがIACの2020年大会(国際宇宙会議)(世界的な新型コロナウイルス感染症の流行でサイバー開催となった大会)で発表した論文では、高い格付けを得た衛星運用者に対する割引保険料の提供、宇宙活動の規制を通じた公平な競争条件の実現、高い格付けを政府調達において優先するという調達基準の導入、そして長期的には、高い格付けが顧客や一般社会から高評価を受けることによる競争上の優位が期待され、環境や社会問題に関する企業の報告書にも活用されると論じています^[13]。しかし、衛星の軌道上保険は、現在はほとんどが物保険(衛星の機能を補償する保険)であり、責任保険ではありませんから、SSRで高格付けを得たからと言って保険料が割引かれるという効果は見込めないと思われます。そこで、当面は、各国の規制への影響と、調達基準への取り込みが焦点となっていくでしょう。

宇宙活動法を持つ国では、一般的に、許可を与える条件として、デブリ抑止対策を要求しています（日本の宇宙活動法では、法22条2号～4号、施行規則22条～24条）。こうした許可基準の中に、SSRで「一定以上の格付けを得ていること」といった条件を取り込むように働きかけていくことが構想されているものと考えられます。日本の宇宙活動法にSSRの格付けを取り入れるかどうかは内閣府の判断ですが、たとえば、ニュージーランドの宇宙・高高度活動法でそうした基準が採用されれば、日本の衛星運用者は、ニュージーランドの小型ロケットによる打上げを行おうとすればSSRの格付けを取得しなければならないこととなります。米国のFCC規則にSSRが組み込まれれば、格付けを取得しないと米国向けのサービスを提供するための衛星運用ができないという結果に直面します。そのような未来が到来するかどうかは、SSRに対する各国当局の評価次第なので、決して来ないかもしれませんが、案外すぐに到来する可能性もあります。

政府調達の基準への導入は、欧州（ESAやEU）などで進む可能性があるでしょう。この場合、日本企業が直接的にESAやEUの調達に応じることは多くないかもしれませんが、コンポーネントの供給者として欧州企業と取引している場合は、SSRへの対応を求められることがあります。そうなった場合、宇宙機器メーカーのグローバルな市場がSSRによって条件づけられるわけです。

前述の論文が「環境や社会問題に関する企業の報告書」に言及していることにも注意しておきたいと思います。これは、日本企業も「サステナビリティ報告書」「CSR報告書」などとして発行しているものを意味していると思われる。現在、サステナビリティ報告書には気候変動への対応や人権保障（労働環境）

の遵守状況などが書かれていると思います。その中に、SSRで格付けを取得していることを記載していくということです。近年では、機関投資家がESG投資を重視し、気候変動に無関心な企業に対する投資を抑制するという動向が顕著に見られます。SSRの格付けを取得し、そのことをサステナビリティ報告書などに記載した企業に対して積極的に（宇宙版の）ESG投資が進められるということになると、大きなインパクトがあると予想されます。

4. SSRに対する日本の課題

以上のように、SSRは宇宙における環境対策の一つとして有効と思われるが、以下の3つの課題があると考えています。

- 1) 具体的な計算方法が示されていない部分がほとんどで、計算方法の妥当性を検証できない。
- 2) 格付けをされるのは衛星運用者であるが、実際には衛星や打上げ機そのものの評価につながる可能性がある。
- 3) 現時点ではSSRはフォーラム標準であり、無視することも可能であるが、今後、ある主のデファクトスタンダードとなり、格付けの高い衛星運用者が使っている衛星やロケットを使うことが推奨されるような流れになる可能性がある。

また、打上げ機の選定も評価に含めることが検討されており、そこでは、日本の打上げ機が低い評価をされる傾向にあるようです。

しかし、計算方法が公開されていないため、計算結果の妥当性を検証できず、ある意味、一方的に低い評価を押し付けられている面があります。仮に、このような状況の中でSSRが国際的に支持され、デファクトスタンダー

ドになってしまったとしたら、日本の打上げサービスや衛星運用を行う企業にとっては、ビジネス上、不利にはたらく可能性も高いと思われる。

さらに、日本でも今後は小型衛星によるコンステレーションを進めようとしています^[12]、コンステレーションの運用ではSSRを考慮する必要が出てくるかもしれません。

国際ルールは企業の競争戦略をつまずかせる原因となる反面で、ルール形成を事業戦略のために使いこなす可能性もあると指摘されています^[14]。国際ルールをめぐる交渉では、まずアジェンダ（交渉項目）の設定が重要ですが、SSRについては、すでにその段階は過ぎてしまっています。現時点でとりうる戦略は、日本の宇宙産業にとって不利なルールの導入を阻止していくこと、そして日本企業の優位を活かせるような運用を実現していくことです。そのためにはまず、提案されているSSRの仕組みを適用すると日本の衛星や宇宙機器がどのように評価されるのかを分析する必要がありますと考えられます。

最後に、日本の衛星運用者が格付けを受ける場合、以下の点も課題の1つと成り得ると思われる。

4) 海外機関に申請する必要がある。

実際、単に申請文書を英語で作成するのに手間がかかるかもしれないという点だけでなく、より高い格付けを得るためには衛星やロケット、地上局に関するより詳細なデータを海外機関に提供する必要がでてきますが、これは、国内の衛星／打上げ機メーカーにとっては、あまり嬉しくないことでしょう。

したがって、日本としては、日本の衛星運用者、衛星メーカー、打上げ機メーカーがビジネス上で不利にならないために、以下の点

を実施／検討する必要があると考えています。

- (1) 現行の格付け理論の中身の確認、および、その理論の妥当性検証
- (2) 格付け方法の検討：現行の格付け方法によるトライアル評価による課題抽出
- (3) (1) の検証結果と (2) の抽出課題に基づく、現行の格付け方法の修正提案
- (4) 今後予想される格付け方法の改訂作業への参画
- (5) 国内にSSR認証機関を設置し、欧米と相互認証を行う枠組みの構築

5. 今後の取り組みについて

最後に、この章では、4章の(1)～(5)に示した検討事項に対し、筆者らが現在取り組んでいることについて、以下に簡単にご紹介します。

国内の宇宙関連企業や大学研究者等の有志により、宇宙開発利用の拡大・促進に向けて、2017年に「ニュースペース研究会」が立ち上げられ、現在は、2019年に設立された一般社団法人 ニュースペース国際戦略研究所(NGSL)の下で活動中です。この研究会の中には宇宙環境保全ビジネスを検討するWGがあり、筆者らを含む、このWGのメンバー内の有志が、日本でもSSRに取り組むべきと考え、経済産業省宇宙産業室の指導の元で検討を進めています。具体的には、取り組み内容・方法を検討し、eSpaceとの打ち合わせをしてきています。

そして、2022年度に日本大学理工学部のお茶の水キャンパス内にSSRに関する産学連携ユニット(以下、SSRユニット)を設置することを検討中で、設置後は、まずは、4章の(1)～(3)を実施したいと考えています。それにあたっては、図1に示すような体制を検討中です。

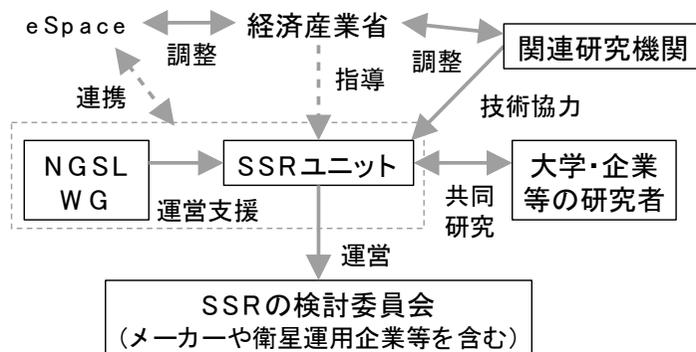


図1 検討中のSSRユニット

筆者らも、まだこのような取り組みを始めたばかりですが、この記事が、多くの方々にSSRへの関心を深めていただくきっかけとなれば幸いです。

《参考文献》(ウェブサイトの閲覧日は全て2011年11月1日)

- [1] 内閣府「スペースデブリに関する関係府省等タスクフォース大臣会合」ウェブサイト, <https://www8.cao.go.jp/space/taskforce/debris/kaisai.html>.
- [2] F. Letizia, S. Lemmens, “Space Sustainability Rating,” Space Sustainability Rating Workshop, 15 April, 2021, https://indico.esa.int/event/379/attachments/4152/6176/SSR_April_2021%20workshop.pdf.
- [3] F. Letizia, et al., “Framework for the Space Sustainability Rating,” 8th European Conference on Space Debris, 20-23 April, 2021, <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc8/paper/95/SDC8-paper95.pdf>.
- [4] WEF, “New Space Sustainability Rating Addresses Space Debris with Mission Certification System,” 17 June, 2021, <https://www.weforum.org/press/2021/06/new-space-sustainability-rating-addresses-space-debris-with-mission-certification-system>.
- [5] UNCOPUOS, “Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space,” https://www.unoosa.org/pdf/publications/st_space_49E.pdf.
- [6] IADC, “IADC Space Debris Mitigation Guidelines,” <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/iadc-space-debris-guidelines-revision-2.pdf>.
- [7] UNCOPUOS, “Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities,” https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2018/aac_1052018crp/aac_1052018crp_20_0_html/AC105_2018_CRP20E.pdf.
- [8] T. Yasaka, “Can we have an end to the debris issue?,” 62nd IAC, IAC-11.A6.5.1. 2011.
- [9] Y. Kitazawa, “Organizational and Operational Requirements for Space Debris Remediation,” International Interdisciplinary Congress on Space Debris Remediation, 2021, https://www.mcgill.ca/iasl/files/iasl/sdc2011_4_kitazawa.pdf.
- [10] T. Yasaka, and N. Ishii, “Breakup in Geostationary Orbit: A Possible Creation of A Debris Ring,” Acta Astronautica, Vol. 26, No. 7, pp. 523-530, 1992.

- [11] 花田俊也, 八坂哲雄, 「静止軌道スペース・デブリ環境に関する推移モデル」, 日本航空宇宙学会論文集, Vol. 48, pp.19-25, 2000.
- [12] 宇宙開発戦略本部, 「宇宙基本計画工程表改訂に向けた重点事項」, 2021年6月29日, URL: https://www8.cao.go.jp/space/plan/plan2/kaitei_fy03/juten_all.pdf.
- [13] M. Rathnasabapathy et al., “Space Sustainability Rating: Designing a Composite Indicator to Incentivise Satellite Operators to Pursue Long-Term Sustainability of the Space Environment” , IAC-20-E9.1-A6.8.6, 2020, <https://www.media.mit.edu/publications/space-sustainability-rating-designing-a-composite-indicator-to-incentivise-satellite-operators-to-pursue-long-term-sustainability-of-the-sp/>.
- [14] 藤井敏彦『競争戦略としてのグローバルルール』(東洋経済新報社, 2012) .