

# 「日本の宇宙空間の安定的かつ持続的な利用の確保に資する 民間によるSSA支援事業の検討」 調査研究報告書概要

一般財団法人 日本宇宙フォーラム

青木 定生

## 1. 調査研究課題名

日本の宇宙空間の安定的かつ持続的な利用の確保に資する民間による SSA 支援事業の検討

## 2. 調査研究結果概要

宇宙状況把握 (Space Situational Awareness : SSA) は、米空軍が始めた事業で、欧州でも EU 主導による「EU Space Surveillance and Tracking : EU SST」が域内・域外の宇宙事業者向け SSA サービスを展開し始めた。一方、米国では民間企業による SSA サービス事業者が立ち上がるとともに、米商務省 (DOC) が、米軍に代わってサービスを提供するための準備を進めている。日本国内では、防衛省が JAXA の支援を得て、唯一の SSA 事業者として、SSA 運用システムを整備・運用しているが、デブリ等の基本的なデータベースの大半は、米空軍に依存しているのが、現状である。

宇宙が真剣なビジネスの場となった昨今、産官学とのネットワークを活かし、日本国内の民間事業者が安心安全で事業展開するための SSA 体制構築を目指し、日本国内の民間による SSA 新事業の在り方、及びその実現性を検討した。併せて、LEO 軌道混雑化回避のための衛星運用規制案についても検討した。

## 3. 調査研究の目的

### 3.1 調査目的

日本は人工衛星を打ち上げる独自のロケット技術を持つ国であり、運用する衛星数も単独の国としては、5 番目に位置する宇宙大国である。日本政府は防衛省自衛隊宇宙作戦群が安全保障の観点から我が国の SSA 体制の中核となるべくシステム構築の準備を進めているが、国内の民間企業が保有する衛星の運用をサポートする SSA 体制が構築されていない。

さらには、日本の宇宙に係る運用の基本法である宇宙活動法にはロケット打上げ及び衛星打上げ運用は認可対象とされているのみで、認可を受けた事業者が認可条件通り事業を進めているかの国による監視が行われていない上、報告の義務も要求していない。（“内閣総理大臣は、必要な報告を求める”と、宇宙活動法で規定している。（第三十一条））

日本の宇宙ビジネスを行う企業が急拡大している中で、新たに国内に初めて SSA サービス企業が立ち上がる計画もあり、その実現性等調査研究を実施する。

## 4. 調査研究の実施内容

### 4.1 関連情報の収集

(1) 宇宙活動法平成 28 年 11 月 16 日法律第 76 号<sup>1</sup>

(2) 令和 2 年度経済産業省 政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利活用環境整備・データ利

---

<sup>1</sup> 人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律 (shugiin.go.jp)

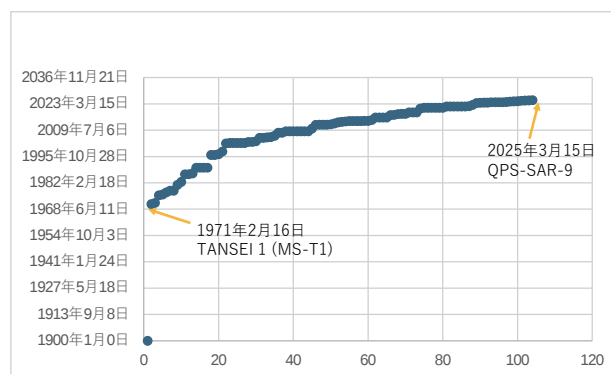
(3) SSA 関連データ／サービスを提供する既存の機関・企業の現状調査(調査対象は以下)

|       |                                                  |
|-------|--------------------------------------------------|
| 日本    | ①日本のSSA体制(情報の最新化)                                |
| 日本    | ②JAXAのSSAシステムの構成(情報の最新化)                         |
| US    | ③米宇宙軍(連合宇宙運用センター:CSpOC)                          |
| US    | ④米商務省                                            |
| EU    | ⑤EU SST (Space Surveillance and Tracking)        |
| 欧     | ⑥フランス                                            |
| 欧     | ⑦ドイツ                                             |
| 欧     | ⑧イタリア                                            |
| 欧     | ⑨イギリス                                            |
| ロシア   | ⑩ROSCOSMOS(ロシア宇宙庁)                               |
| AU    | ⑪オーストラリア(AUSSpOC)                                |
| IND   | ⑫インド                                             |
| Korea | ⑬韓国                                              |
| 国際    | ⑭International Scientific Optical Network (ISON) |
| 国際    | ⑮SDA                                             |
| US    | ⑯COMSPOC社(米・民間)                                  |
| US    | ⑰LEOLABS社(米・民間)                                  |
| US    | ⑱スリングショット社(米・Slingshot Aerospace, Inc.)          |
| US    | ⑲ExoAnalytic社(米・民間)                              |
| US    | ⑳ a.i-solution                                   |
| US    | ㉑ iSpace(ロッキードマーチン)                              |
| US    | ㉒ Kratos                                         |
| US    | ㉓ Niumerica                                      |
| US    | ㉔ H3Harris                                       |
| 日本    | ㉕ LSAS Tec                                       |
| 日本    | ㉖ Star Signal Solutions株式会社                      |

(4) 国内の宇宙利用民間事業者の現状

日本の衛星打上げ(LEO)の現状

SSA 活動で特に重要な LEO 軌道に残存する日本  
起源の衛星打上げ履歴を右図に示す。1971 年打  
上の“TANSEI 1 号”以降、2025 年 3 月打上の民間  
SAR 衛星”QPS-SAR-9”まで、約 100 機が打上げら  
れている。政府始め民間企業はコンステレーション  
の計画が立案されているが、現状では米欧中のよ  
うな大規模なコンステレーション計画は顕在化せず、  
2機/年程度となっている。(情報収集衛星は除く)



出典:Space-track.org のデータをもとに著者作成

各国の軌道上物体登録比較を下表に示す。

|                      | 主な各国の衛星等打上状況 |       |        |       |       |      |        |       |       |         |
|----------------------|--------------|-------|--------|-------|-------|------|--------|-------|-------|---------|
|                      | 軌道上          |       |        |       |       | 落下済み |        |       |       |         |
| COUNTRY              | 不明           | 衛星    | ロケット機体 | デブリ   | 小計(1) | 衛星   | ロケット機体 | デブリ   | 小計(2) | 合計(1+2) |
| <a href="#">ロシア</a>  | 17           | 1576  | 1046   | 4019  | 6658  | 2168 | 2944   | 13196 | 18308 | 24966   |
| <a href="#">ESA</a>  | 0            | 104   | 7      | 19    | 130   | 16   | 4      | 29    | 49    | 179     |
| <a href="#">フランス</a> | 0            | 120   | 167    | 352   | 639   | 22   | 90     | 706   | 818   | 1457    |
| <a href="#">ドイツ</a>  | 0            | 86    | 0      | 1     | 87    | 37   | 0      | 1     | 38    | 125     |
| <a href="#">インド</a>  | 1            | 112   | 41     | 42    | 196   | 38   | 34     | 486   | 558   | 754     |
| <a href="#">ISS</a>  | 0            | 5     | 0      | 0     | 5     | 1    | 0      | 100   | 101   | 106     |
| <a href="#">イタリア</a> | 0            | 63    | 2      | 0     | 65    | 34   | 0      | 2     | 36    | 101     |
| <a href="#">日本</a>   | 3            | 202   | 55     | 42    | 302   | 121  | 83     | 357   | 561   | 863     |
| <a href="#">中国</a>   | 281          | 886   | 236    | 4325  | 5728  | 313  | 342    | 2128  | 2783  | 8511    |
| <a href="#">韓国</a>   | 6            | 44    | 3      | 0     | 53    | 6    | 1      | 0     | 7     | 60      |
| <a href="#">スペイン</a> | 0            | 48    | 0      | 0     | 48    | 30   | 0      | 0     | 30    | 78      |
| <a href="#">イギリス</a> | 0            | 718   | 1      | 0     | 719   | 26   | 0      | 5     | 31    | 750     |
| <a href="#">USA</a>  | 4            | 9508  | 774    | 3983  | 14269 | 3247 | 818    | 5629  | 9694  | 23963   |
| ALL COUNTRIES TOTAL: | 562          | 14526 | 2370   | 12834 | 30292 | 6552 | 4337   | 22761 | 33650 | 63942   |

出典:Space-track.org

LEO で衝突事故が懸念される“メガコンステレーション”計画の現状を下表に示す。高度約650キロ以下が最も危険な領域である。

| Constellation   | Total Satellites Planned | Altitude         | Country          | Status                                                |
|-----------------|--------------------------|------------------|------------------|-------------------------------------------------------|
| OneWeb Gen1     | 716                      | 1,200 km         | UK               | 640 launched<br>620 operational<br>6 re-entered       |
| OneWeb Gen2     | 6,372                    |                  |                  | Planning                                              |
| Starlink Gen1   | 4,408                    | 540 – 570 km     | US               | 4,015 launched<br>3,549 operational<br>361 re-entered |
| Starlink Gen2A  | 7,500                    | 523 – 530 km     | US               | 1,724 launched<br>1,107 operational<br>26 re-entered  |
| Starlink Gen2   | 22,488                   | 328 – 614 km     | US               | Planning                                              |
| Kuiper          | 3,232                    | 590 – 630 km     | US               | 2 launched                                            |
| Lynk            | 2,000                    | 450 – 500 km     | US               | 8 launched<br>4 operational                           |
| AST SpaceMobile | 243                      | 700 km           | Papua New Guinea | 1 launched                                            |
| Lightspeed      | 1,969                    | 1,015 – 1,325 km | Canada           | First launch 2024?                                    |
| Xingwang        | 966                      | 880 – 1,110 km   | China            | 15 launched<br>9 operational                          |
| Guanwang (GW)   | 12,992                   | 590 – 1,145 km   | China            | Planning                                              |
| Cinnamon/eSpace | 327,320                  | 550 – 638 km     | Rwanda           | Filed                                                 |

出典:Space Sustainability:An Overview,Victoria Samson,Secure World foundation Presentation for LSAS Aerospace and Defence Workshop Tokyo,Japan July 10,2024

## 4. 2 調査・分析結果のまとめ・提言

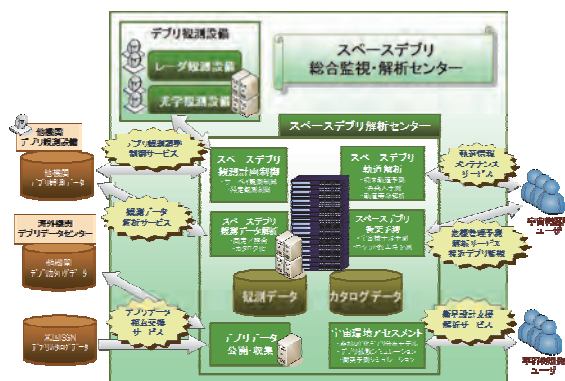
### (1) 提言 1

国内のロケット打ち上げサービス事業者及び衛星事業者(スタートアップ企業を含む)が安心してそれぞれの事業展開が可能な民間主導の SSA システム構築案の提案

#### SSA システム構築案

民生 SSA サービスセンターのシステム構成を下図に示す。

所有すべき LEO 監視レーダは廉価なパラボラ式、光学系は LEO・GEO 観測可能な柳沢式<sup>2</sup>



出典: 吉富進、青木定生(JSF)、小野勝弘(NEC)、亀井雅也(富士通)、平成 24 年「スペースデブリ総合監視・解析センター構想案」、第 56 回宇宙科学技術連合講演会発表

出典: 令和 2 年度 METI 調査報告書(民間事業者への SSA サービス提供のためのプラットフォームの構築に向けた FS 事業)

出典: LEO Uncatalogued Space Debris Detection and Orbit Characterization through Multi-Site Optical Observations, 22<sup>nd</sup> IAA Symposium on Space Debris, 14-18 October 2024, 22<sup>nd</sup> IAA Symposium on Space Debris

### 事業モデル

事業モデルとして、下記のとおり 3 形態を考案した。

| 事業モデルの形態                   | 主な内容                                                                                                                                                     | メリット・デメリット                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① 定額提供サービス<br>(利用可能数に制限なし) | <ul style="list-style-type: none"> <li>最も単純なモデルであり、一定額の支払いを予め行えば、サービスを何度でも利用可能な形態</li> <li>ヘビーユーザに優しい形態であるが、ライトユーザの取り込みに課題あり</li> </ul>                  | <p>(メリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ヘビーユーザの負担が小さくなる。</li> <li>運営側も比較的安定した収入が見込まれる。</li> </ul> <p>(デメリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>サービスをあまり使わないユーザには負担が大きい。</li> </ul>                                                            |
| ② 定額提供サービス<br>(利用可能数に制限あり) | <ul style="list-style-type: none"> <li>①の派生型であり、利用可能回数に制限をかけることで、それ以上の利用をした際に超過料金を聴取するモデル</li> <li>回数ごとのパッケージを準備することも可能</li> </ul>                       | <p>(メリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>超過料金を高めに設定することで、収入増につながる可能性がある。</li> <li>想定利用回数に応じてパッケージの選択も可能。</li> </ul> <p>(デメリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>多くのユーザが予定回数内の利用にとどまった場合、①と比較して収入源となる</li> <li>他の方法に比べて、管理がやや煩雑である。</li> </ul> |
| ③ 従量課金サービス<br>(利用ごとの課金)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>利用量に応じて支払金額が決まるモデル</li> <li>ライトユーザにとっては敷居が低くなるが、ヘビーユーザは価格が高騰する懸念あり</li> <li>一定量以上の利用は定額にするといった派生型もありえる</li> </ul> | <p>(メリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>利用に応じて対価を払えばよいいため、サブスクリプション形式に比べて、あまり利用しないユーザの負担は小さくなる。</li> </ul> <p>(デメリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>何度もサービスを使うユーザの負担が大きくなる。</li> </ul>                                                    |

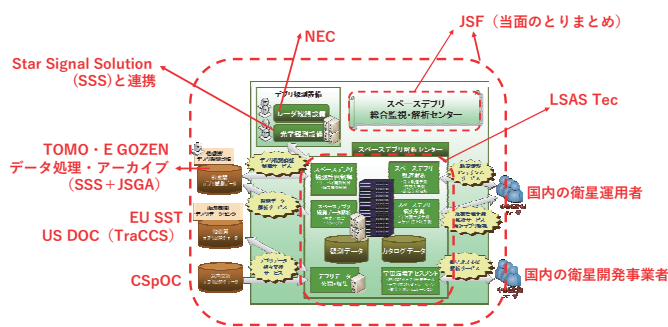
<sup>2</sup> LEO Uncatalogued Space Debris Detection and Orbit Characterization through Multi-Site Optical Observations, 22<sup>nd</sup> IAA Symposium on Space Debris, 14-18 October 2024, 22<sup>nd</sup> IAA Symposium on Space Debris

(2)提言 2

## 提言 1 を実現するための民間の枠組み(素案)

提言1を実現するための民間の枠組み

- ・JSF: 全体とりまとめ
- ・国内連携
  - +LSAS Tec: 解析システム  
(日本国内で唯一、SSA サービスを展開している企業)
  - +Star Signal Solution: SSA サービス  
(JAXA 社内ベンチャーでシステム開発中)
  - +NEC: パラボラアンテナ  
(宇宙用パラボラアンテナ開発で大きな実績がある。)



出典：吉富進、青木定生(JSF)、小野勝弘(NEC)、亀井雅也(富士通)、平成 24 年「スペースデブリ総合監視・解析センター構想案」、第 56 回宇宙科学技術連合講演会発表、著者加筆

- ・海外連携:
  - +EU SST(EU が推進する SSA サービス提供のコンソーシアム)
  - +TraCCS(米国商務省が開発中の SSA サービスシステム)
  - +CSpOC(米国宇宙軍が推進する SSA サービスで、最も実績がある)

### (3) 提言 3

LEO 軌道の混雑回避のために、現行宇宙基本法が追加で具備すべく関連条項等の提案

フランスの新宇宙法の技術規制(2024年発効)は最も参考にすべき案である。(下記)

## Evolution of the technical topics addressed by the TR NG (新技術規制)

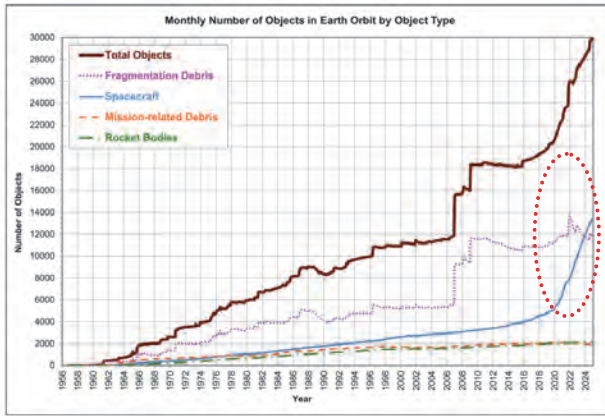
(コンステレーションに関する具体的な要件)

- コンステレーション（衛星数 10 基超）およびメガコンステレーション（衛星数 100 基超）衛星数による廃棄（デオービテーション／パッシベーション）要件の成功への影響：
  - ✓ 衛星数が 50 基未満のコンステレーションの場合、 $P$ （廃棄確率） $> 0.9 + N \times 0.001$ 。  
N はコンステレーションの衛星数
  - ✓ 衛星数が 50 基を超えるコンステレーションの場合、 $P > 0.95$ 。
- メガコンステレーションの損害リスクは、全衛星数で  $1E-02$  未満
- 地球再突入までの最大廃棄時間：
  - ✓ 衛星数が 1,000 基未満の場合は 5 年
  - ✓ 衛星数が 1,000 基を超える場合は 2 年

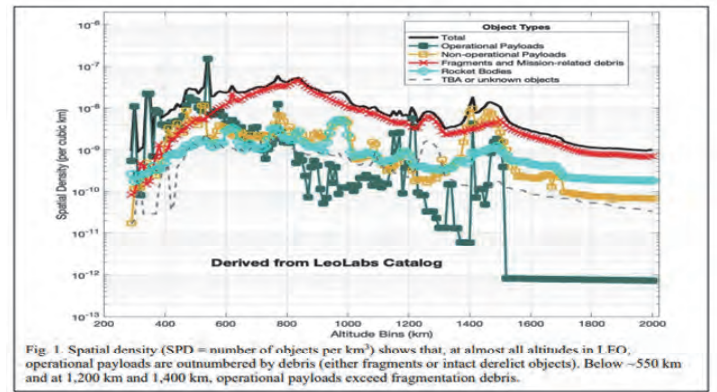
#### (4) 提言 4

SSA の必要性や増々混雑化する宇宙の交通ルール (Space Traffic Management: STM) の必要性等のアウトリーチ活動の展開に関する提案

宇宙活動が、新たな転換期を、迎えていることの周知が必要。Starlink 衛星等の LEO コンステレーション計画の進展により、2023 年末ごろから、デブリ数よりも、運用中の衛星数が上回る事態になってきた。



青(衛星)が赤(デブリ)より多くなった。(2023 年末)



緑(衛星)が赤(デブリ)高度 600 キロ以下で多くなった。

出典：NASA Orbital debris quarterly news, volume 29, Issue 1, February 2025

出典：Space Sustainability : An Overview, Victoria Samson, Secure World Foundation, Presentation for LSAS Aerospace and Defense Workshop, Tokyo, Japan, July 10, 2024

このような宇宙環境(特に、LEO)の激変に対して、

IADC<sup>3</sup>声明(2022 年 2 月)は、「どのような緩和策(デブリ低減策)ももはや十分ではない」⇒Remediation(修復)が必須であると明言している。

この声明の趣旨を満たすため、IADC は以下のことを推奨している。

- 運用者に対し、既存の軌道上デブリ軽減ガイドラインに従い、ミッション後の処分信頼性を可能な限り高く、かつ 90%以上とすること。
- 能動的なデブリ除去に関する更なる研究と費用対効果分析を実施し、デブリ数を安定化させることを目標に、技術的、経済的、および安全上の考慮事項を満たす概念と実現技術を特定・実証すること。
- 新たに打ち上げられる宇宙船と上段ステージは、PMD (Post Mission Disposal: ミッション終了後廃棄処置)故障時に備えて ADR に対応できること。

これを実現する枠組みが、“Space Traffic Management : STM”(宇宙交通管理)⇒規制が必要と言える。

<sup>3</sup> The Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) (宇宙機関間デブリ問題調整委員会)