

経済産業省 御中

令和2年度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・データ利用促進事業（民間事業者への宇宙状況把握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フィージビリティスタディ事業）

調査報告書

2021年3月31日

 株式会社三菱総合研究所

目 次

1. はじめに	1
1.1 調査の目的	1
1.2 調査の概要	2
2. 民生 SSA プラットフォームに求められる機能と実現性の評価	3
2.1 ニーズ調査およびそれに基づくサービスの定義	3
2.1.1 顕在／潜在ユーザのニーズ調査	3
2.1.2 ユーザ要求分析とサービスの具体化	13
2.2 サービスに必要なデータ入手検討	19
2.2.1 入手可能なデータの整理	19
2.2.2 サービスの実現に必要なデータの分析	44
2.2.3 求められるサービスの充足度（ギャップ）の分析	62
2.2.4 統合・解析の在り方検討	70
2.3 概念検討、試作、評価	73
2.3.1 概念検討結果	73
2.3.2 試作	82
3. 民生 SSA プラットフォームの構想案	96
3.1 構想案検討の前提の整理	96
3.1.1 A パートの Finding：プラットフォームのユーザ	96
3.1.2 B パートの Finding：ユーザニーズと既存サービスとのギャップ	97
3.1.3 C パートの Finding：システムコンセプトと試作サービス	97
3.2 民生 SSA プラットフォームが保有する独自センサの検討	98
3.3 SSA サービスの市場規模	101
3.3.1 世界の SSA の市場規模	101
3.3.2 日本の SSA の市場規模	102
3.4 民生 SSA プラットフォームの構想案	104
3.4.1 プラットフォームのコンセプト	104
3.4.2 プラットフォームのサービス	105
3.4.3 プラットフォームの実現イメージ	107
4. 有識者検討会	109
5. 民間ステークホルダーへの事業成果の報告会	111
6. まとめと今後の課題	112
6.1 まとめ	112
6.2 今後の課題	112

図目次

図 1-1	調査フロー	2
図 2-1	サービス・データ入手検討のフロー	19
図 2-2	JAXA の SSA システムの構成	21
図 2-3	CSpOC の宇宙監視ネットワーク (SSN)	22
図 2-4	ComSpOC が提供する SSA ソフトウェアのイメージ	22
図 2-5	LeoLabs 社の SSA サービスのイメージ	23
図 2-6	ExoAnalytic 社の SSA ソフトウェア ESPOC のイメージ	24
図 2-7	L3Harris 社の定常センサが捉えた画像	25
図 2-8	Lockheed Martin 社の軍事運用ソフトウェア iSPACE と他システムとの連携 ..	26
図 2-9	Kratos 社の RF 収集インフラ	26
図 2-10	Numerica 社の追跡サービスのイメージ	27
図 2-11	EU SST のセンサネットワーク	28
図 2-12	宇宙監視システム ASPOS OKP の役割	29
図 2-13	ISON の観測地点	30
図 2-14	SDA のメンバー一覧	31
図 2-15	NICT 宇宙天気予報センターによる宇宙天気予報 (一部)	32
図 2-16	NWS SWPC による宇宙天気予報 (一部)	32
図 2-17	光学望遠鏡の口径別比率	36
図 2-18	光学望遠鏡の鏡筒別比率	37
図 2-19	兵庫県立大学西はりま天文台の光学望遠鏡外観	38
図 2-20	銀河の森天文台の光学望遠鏡外観	39
図 2-21	野辺山宇宙電波観測所の 45m 電波望遠鏡	40
図 2-22	野辺山宇宙電波観測所の 10m 電波望遠鏡	41
図 2-23	VERA プロジェクト観測局の配置	41
図 2-24	各データ種類の関係	46
図 2-25	CSpOC におけるプロセス	71
図 2-26	システムコンセプト (上) Before (下) After	75
図 2-27	システム構成	77
図 2-28	シーケンス図の一例	78
図 2-29	概念検討全体の流れ	79
図 2-30	機能一覧とサブシステム構成	80
図 2-31	機能ごとの入出力データの整理 (左) とデータベース構造 (右)	80
図 2-32	各機能に対する入出力データ及びデータフローの一部	81
図 2-33	CDM 受領時における回避行動判断の流れ (現状)	83
図 2-34	CDM 受領時における回避行動判断の流れ (サービス実現後)	84
図 2-35	CSpOC から CDM を受領した際の画面表示	84
図 2-36	O/O データを提供する画面表示	85
図 2-37	Secondary の観測要求に関する画面表示	86
図 2-38	最新観測データを使用した接近解析のイメージ	86

図 2-39	接近解析結果の通知画面表示	87
図 2-40	CDM 受領時における回避計画立案の流れ（現状）	88
図 2-41	CDM 受領時における回避計画立案の流れ（サービス実現後）	88
図 2-42	ΔV 情報の入力画面	89
図 2-43	ΔV 計画を含む軌道暦の提供画面表示	89
図 2-44	CDM 受領時における回避計画立案の流れ（サービス実現後）	90
図 2-45	メールにおける軌道逸脱アラートイメージ（左）と WEB 画面における SSA 情報の確認イメージ（右）	91
図 2-46	接近解析機能の概要	92
図 2-47	イベント一覧画面表示	93
図 2-48	接近解析画面表示	93
図 3-1	民生 SSA プラットフォームのコンセプト	105
図 3-2	提供サービスとユーザの関係	106
図 3-3	現在の SSA をとりまく状況認識（政府計画等に基づく）	107
図 3-4	プラットフォームの実現イメージ	108

表 目 次

表 2-1	アンケート送付先と回収状況	5
表 2-2	アンケート回答先及びヒアリング実施先	5
表 2-3	海外アンケート送付先	6
表 2-4	打ち上げ事業者のアンケート及びヒアリング結果.....	6
表 2-5	衛星運用事業者(既に衛星運用を実施中) のアンケート及びヒアリング結果 ...	7
表 2-6	衛星運用事業者(衛星運用を計画中) のアンケート及びヒアリング結果	9
表 2-7	海外の状況のアンケート結果	10
表 2-8	現状の CSpOC の提供するサービスの問題点	10
表 2-9	日本独自の民生 SSA プラットフォームに求めるサービス内容	11
表 2-10	日本独自の民生 SSA プラットフォームに求めること	12
表 2-11	アンケート回答の重複したニーズの整理例	13
表 2-12	ユーザ要求分析（一部抜粋）	13
表 2-13	民生 SSA サービスの具体化（一部抜粋）	18
表 2-14	調査対象とした SSA 関連データ／サービスを提供する既存の機関・企業 ..	20
表 2-15	B-1 で対象とした既存の機関・企業が提供する SSA 関連データ／サービス	33
表 2-16	口径 100cm 以上の光学望遠鏡を有する施設.....	36
表 2-17	兵庫県立大学西はりま天文台の光学望遠鏡概要.....	37
表 2-18	銀河の森天文台の光学望遠鏡概要	38
表 2-19	口径 20m 以上の電波望遠鏡を有する施設	39
表 2-20	電波望遠鏡（口径 20m 以上）の口径と周波数帯	40
表 2-21	ユーザニーズ調査から導出されたサービス	44
表 2-22	SSA サービスに必要なデータ種類	45
表 2-23	ユーザが求めるサービスとその実現に必要なデータの対応関係.....	46
表 2-24	「①打上時接近解析」サービスに必要なデータ種類と要件.....	47
表 2-25	「②ローンチウインドウ解析」サービスに必要なデータ種類と要件.....	48
表 2-26	「③軌道情報提供」サービスに必要なデータ種類と要件.....	49
表 2-27	「④衛星運用時接近解析」サービスに必要なデータ種類と要件.....	51
表 2-28	「⑤スクリーニング」サービスに必要なデータ種類と要件.....	51
表 2-29	「⑥CDM 発行」サービスに必要なデータ種類と要件.....	52
表 2-30	「⑦回避計画立案支援機能」サービスに必要なデータ種類と要件.....	54
表 2-31	「⑧再突入解析」サービスに必要なデータ種類と要件.....	55
表 2-32	「⑨軌道離脱・廃棄運用支援」サービスに必要なデータ種類と要件.....	56
表 2-33	「⑩宇宙天気情報提供」サービスに必要なデータ種類と要件.....	56
表 2-34	「⑪衛星モニタリング」サービスに必要なデータ種類と要件.....	57
表 2-35	「⑫観測情報提供」サービスに必要なデータ種類と要件.....	58
表 2-36	「⑬他のデータベース情報の提供」サービスに必要なデータ種類と要件 ...	58
表 2-37	「1. 軌道情報」データのデータ要件	59
表 2-38	「2. 軌道予測」データのデータ要件	59
表 2-39	「3. 接近解析情報」データのデータ要件	60

表 2-40	「4. 回避計画立案支援情報」データのデータ要件.....	60
表 2-41	「5. マヌーバ情報」データのデータ要件	60
表 2-42	「6. 再突入・廃棄支援情報」データのデータ要件.....	61
表 2-43	「7. 近接支援情報」データのデータ要件	61
表 2-44	「8. 外観情報」データのデータ要件	61
表 2-45	CSpOC のサービス	63
表 2-46	「1. 軌道情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ	64
表 2-47	「2. 軌道予測」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ	65
表 2-48	「3. 接近解析情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ	66
表 2-49	「4. 回避計画立案支援情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ	67
表 2-50	「5. マヌーバ情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ	67
表 2-51	「6. 再突入・廃棄支援情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ	68
表 2-52	「7. 近接支援情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ	68
表 2-53	「8. 外観情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ	69
表 2-54	民生 SSA プラットフォームが提供するサービスとその概要	73
表 2-55	監視計画立案サービスにおける入出力データの検討結果.....	77
表 2-56	市場アプリ調査および調査結果	81
表 3-1	検討対象とした追尾レーダの種別と特徴	100
表 3-2	世界の SSA 市場規模推移予測（2020 年～2027 年）	102
表 3-3	日本の SSA 市場規模推移予測（2020 年～2027 年）	103
表 3-4	日本の SSA の政府・防衛関連市場と商用関連市場の推移予測（2020 年～2027 年）	103
表 3-5	プラットフォームの提供サービス	106
表 3-6	事業モデルのオプション例	108
表 4-1	検討委員会構成メンバー	109

1. はじめに

1.1 調査の目的

運用を終えた人工衛星やロケットの上段等の回収されずに軌道上を周回しているスペース・デブリ（宇宙ゴミ）は、年々増加しており、地上から追跡できる 10cm 以上のものだけでも 2 万 3000 個を超えている。低軌道のスペース・デブリは秒速 7～8km で軌道上を周回しているため、衛星やロケット等に衝突した場合の被害は甚大である。現在、人工衛星は地上の生活を支える重要なインフラとして経済社会や安全保障など様々な分野で利用されており、近年の小型衛星のコンステレーション化と相まって、今後、宇宙空間の混雑化が進むことにより、衛星との衝突による更なるスペース・デブリの発生等、宇宙空間の安定的利用にとって深刻な懸念となっている。

スペース・デブリの発生を抑止するためには、衛星運用事業者が軌道上のデブリの情報を基に運用計画を立案し、スペース・デブリとの衝突を回避することが重要と考えられる。このため、衛星保有国を中心に各国が宇宙状況監視（SSA: Space Situational Awareness）の取組を推進している。我が国においてもスペース・デブリ回避のため我が国の SSA の体制の確立と能力の向上を図り、同盟国等と SSA 情報の共有等を進め、我が国の宇宙システムがスペース・デブリとの衝突等を回避するために必要となる能力を構築するために、防衛省及び宇宙航空研究開発機構（JAXA）において、SSA 能力向上の取組が進められている。

上記の国レベルでの SSA の活動に加え、宇宙空間を活用した民間事業者における取組も拡大していることから、こうした民間事業者が SSA サービスを活用し、未然にスペース・デブリとの衝突を回避する運用を行っていくことが期待されている。また、現在、軌道上のスペース・デブリを能動的に除去することを目指した民間事業も計画されており、こうした事業においてスペース・デブリに接近するためにも SSA サービスの活用が見込まれている。

本事業では、SSA サービスを提供する各国や我が国における SSA 関係の取組と連携し、衛星運用事業者をはじめとする民間事業者等が活用可能な SSA サービスを提供するためのプラットフォーム（以下、「民生 SSA プラットフォーム」と言う。）を構築することを目指して、プラットフォームが行うべき機能やそのために必要なデータ、技術的成立性等を調査することを目的として実施した。なお、民生 SSA プラットフォームについては、令和 2 年 6 月 30 日に閣議決定された「宇宙基本計画」および同年 12 月 15 日に宇宙開発戦略本部決定された「工程表」等、我が国政府の宇宙状況把握体制の議論と協調して検討を進めた。

上述のように、スペース・デブリの増加や低軌道コンステレーションの構築の影響により衛星との接近事例が増えている。宇宙交通管理のルールは未だ議論中ではあるが、今後は、自社・自組織の責任でデブリや衛星との衝突回避することが必要となってくる可能性もあり、推進系を持つことが難しかった小型衛星用の小型スラスタの開発や衝突回避計算を自社で行うことを支援する接近回避支援ツールの提供などがなされ始めている。今後は、従来の SSA サービスの利用者以外にも、現在計画中の小型衛星運用事業者や小型ロケットによる打上げ事業者など様々な事業者が当事者として SSA サービスを利用することが想定される。さらに、諸外国では LeoLabs に代表されるような民間 SSA サービス事業者も登場しており、我が国でもこの情勢をビジネスチャンス捉えた新たな事業者の誕生も期待される。本事業で

検討した「民生 SSA プラットフォーム」は、政府が構築する SSA システム（基幹システム）が存在することを前提とし、国として保有すべき基盤的能力に加え、基幹システムを補完するような民生プラットフォームが構築されることにより、民間事業者の SSA サービスの利用を容易とし、かつ SSA データの流通が促進されることによりビジネスチャンスが創出されるために必要なプラットフォームという位置づけで検討を行った。そのため、基幹システムではカバーしきれないユーザのニーズに届くサービスやデータの提供を中核として検討を行っている。

なお、本事業は、株式会社三菱総合研究所に加え、SSA に長年の実績と知見を持つ日本宇宙フォーラム（JSF）、国内の SSA を担当している JAXA 及び防衛省の SSA システム開発に携わっているメーカーである富士通と NEC の計 4 社で調査チーム形成して実施した。

1.2 調査の概要

本調査は大きく「（1）民生 SSA プラットフォームに求められる機能と実現性の評価」、「（2）民生 SSA プラットフォームの構想案の検討」、そして「（3）有識者検討会の運営」、「（4）民間ステークホルダーへの事業成果の報告会」の 4 つのパートに分かれ、さらに「（1）民生 SSA プラットフォームに求められる機能と実現性の評価」は、「A）ニーズ調査及びサービスの定義」、「B）サービスに必要なデータ入手検討」、「C）概念検討・試作・評価」の 3 つのパートに分かれている。これを図示したものを図 1-1 に示す

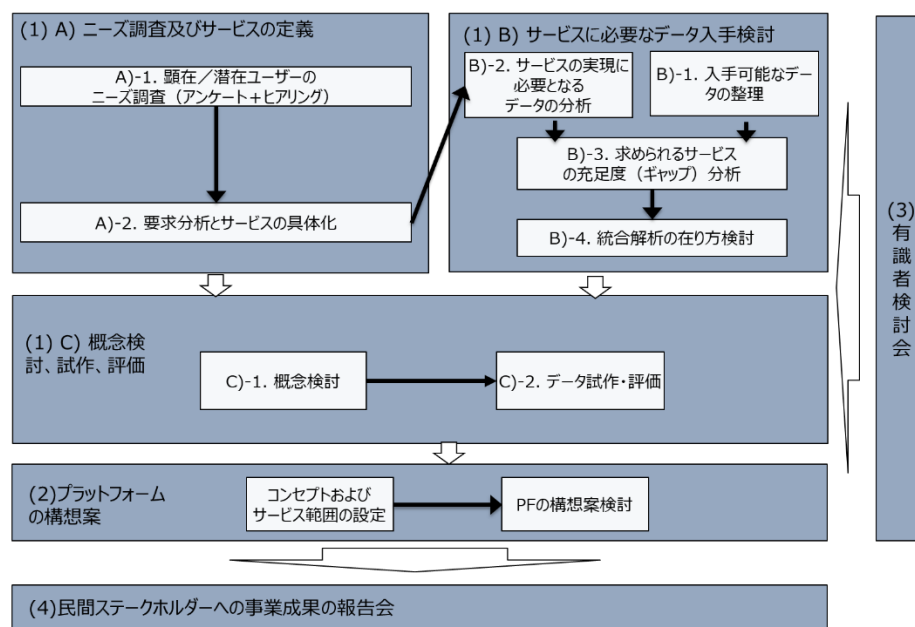


図 1-1 調査フロー

出所）三菱総合研究所作成

2. 民生 SSA プラットフォームに求められる機能と実現性の評価

2.1 ニーズ調査およびそれに基づくサービスの定義

前節で述べたように民生 SSA プラットフォームに求められる機能と実現性の評価を行うための3つのパート（A、B、Cパート）の内、最初の段階であるAパートにおいてニーズ調査及びサービスの定義を行った。このパートのステップとしては

A-1：顕在／潜在ユーザのニーズ調査（アンケート＋ヒアリング）

A-2：要求分析とサービスの具体化

の2段階のステップにてニーズの調査とサービスの定義を行った。

2.1.1 顕在／潜在ユーザのニーズ調査

民間事業者へ SSA サービスを提供するプラットフォームの検討に必要な情報を収集するため、まず、プラットフォームの顕在／潜在ユーザとして想定される調査先を選定した。調査先はロケット打上げ事業者、衛星運用事業者、その他関連事業者に区分し、各調査先に SSA サービスに対するニーズのアンケート調査およびヒアリング調査を実施した。

(1) アンケート及びヒアリング調査

アンケート調査では民生 SSA サービスにおいてユーザが必要とする情報の種類、精度、頻度、データフォーマット等を明らかにするために、SSA サービスの利用状況、データの入手方法、現状のサービスの不足点、SSA サービスを提供するプラットフォームが保有すべき機能やそれらに必要なデータ、プラットフォームへの期待等に関して質問を作成しアンケートを実施した。さらにアンケート調査の回答を受けて一部の事業者にはアンケート結果の補強のためにヒアリング調査を実施した。

1) アンケートの概要

アンケート調査票を作成するに当たり、以下に示すカテゴリ別の想定ユーザに適した質問内容と共通的な質問事項とに分けてアンケートを作成した。

- ✓ 日本国内のロケット打上げ事業者（既存の事業者、並びに将来の事業者）
- ✓ 衛星運用事業者向け（既に衛星運用を実施している事業者）
- ✓ 衛星運用事業者向け（衛星運用の実施を予定している事業者）
- ✓ その他（保険会社）

なお、アンケートの質問内容は調査チームの過年度の SSA サービスに対するニーズ調査の経験をもとに作成した。以下にユーザカテゴリ別アンケートの質問項目を示す。

a. 日本国内のロケット打上げ事業者向けアンケート質問項目

- ✓ 打ち上げサービス実施内容に関する質問（ロケット名称、種類、高度等）
- ✓ ロケット打ち上げ時の接近解析、最終段処理等に関する質問
- ✓ 国内 SSA サービス利用希望の有無、各種情報入手手段に関する質問
- ✓ CSpOC からの情報入手後のアクションプラン有無
- ✓ コンステレーションとの接近解析に関する質問
- ✓ 政府への打ち上げ許可申請支援に関する質問

b. 衛星運用事業者向け（既に衛星運用を実施している事業者）アンケート質問項目

- ✓ 運用中の衛星に関する質問
- ✓ 運用中の衛星に接近する物体の軌道情報等に関する質問
- ✓ 宇宙天気情報に関する質問
- ✓ 衛星運用上で支障があった事象等に関する質問
- ✓ CSpOC 以外の組織からの情報入手に関する質問

c. 衛星運用事業者向け（衛星運用の実施を予定している事業者）アンケート質問項目

- ✓ 運用を予定している衛星に関する質問
- ✓ 運用を予定している衛星に接近する物体の軌道情報等に関する質問

d. 共通的な質問事項

- ✓ 日本独自の民間事業者向け SSA システムに対する要望に事項
- ✓ SSA サービスセンターからのデータ入手に関する質問
- ✓ 日本独自の SSA システムへの自社衛星軌道情報等の提供可能性に関する質問
- ✓ LEO 軌道メガコンステレーション計画に関する質問

これらの質問項目を記載したアンケートを選定した調査先に送付した。

2) ヒアリング調査概要

アンケート調査の回答を受けて、より具体・詳細なニーズ調査を行うために計 9 社（JAXA、大学含む）にヒアリング調査を実施した。

加えて、日本の民生 SSA プラットフォームを利用する可能性がある東南アジア地域の宇宙機関や衛星事業者にもアンケート調査を試みた。しかし、回収できた回答は 1 件のみにとどまった。

3) アンケート及びヒアリング実績一覧

前述のように、以下に示す調査先にアンケートを実施した。

- ✓ 日本国内のロケット打上げ事業者

- ✓ 衛星運用事業者向け（既に衛星運用を実施している事業者）
- ✓ 衛星運用事業者向け（衛星運用の実施を予定している事業者）
- ✓ その他(保険会社等)

各カテゴリ別の送付件数と回収状況を表 2-1 に示す。また、表 2-2 に国内アンケート回答先及びヒアリングの実施先、表 2-3 に海外アンケート送付先を示す。

送付したアンケート依頼に対し 9 割の依頼先から回答を入手し、また、アンケート回答者の約半数に対しヒアリングを実施した。また、打上げ事業者、衛星運用事業者共に既存事業者と新規参入／計画中の事業者双方からバランスよく情報を入手することができた。

表 2-1 アンケート送付先と回収状況

カテゴリ	アンケート送付件数	アンケート回収件数	ヒアリング件数
打上げ事業者	5 件	5 件	3 件
衛星運用事業者 （既に衛星運用を実施中）	12 件	10 件	5 件
衛星運用事業者 （衛星運用を計画中）	3 件	3 件	1 件
その他	1 件	1 件	—

出所）三菱総合研究所作成

表 2-2 アンケート回答先及びヒアリング実施先

カテゴリ	アンケート回答事業者	ヒアリング対象事業者
打上げ事業者	JAXA	○
	MHI	○
	IA	○
	インターステラテクノロジズ	—
	スペースワン	○
衛星運用事業者 （既に衛星運用を実施中）	JAXA	○
	QSS	—
	スカパーJSAT	○
	パスコ	○
	NEC	—
	アクセルスペース	○
	QPS 研究所	—
	キャノン電子	—
	B-SAT	—
衛星運用事業者 （衛星運用を計画中）	九州工業大学	○
	Synspective	○
	ALE	—
その他	アストロスケール	—
	東京海上日動火災保険	—

表 2-3 海外アンケート送付先

種別	アンケート送付先	アンケート回収状況
東南アジア国機関	フィリピン宇宙機関(DIWATA)	—
	ベトナム国家衛星センター(VNSC)	—
	タイ GISTDA	—
	Dr.Thagoon Kirdka (タイ政府のSSA及びSTMのアドバイザー)	○
民間	タイ衛星通信 (Thaicom)	—
	フィリピン衛星(ABS)	—
	ベトナム通信グループ(VINASAT)	—

出所) 三菱総合研究所作成

4) アンケートとヒアリング結果の整理 (ユーザカテゴリ別)

回収したアンケートとヒアリング結果を表 2-4～表 2-7 に各ユーザカテゴリ別に整理した。以下に順次説明する。

a. 打上げ事業者

打ち上げ事業者のアンケートとヒアリング結果で得られた意見を表 2-4 に示す。

打ち上げ事業者は、現状では、ISS や有人機の軌道情報は NASA や SpaceTrack などから入手していることが分かった。また、コンステレーション衛星の増加によりローンチウインドウが確保できない懸念を保有しているが、具体的な対処方針、対処方法などは今後の課題となっていることが分かった。日本独自の SSA に求めることとしては、事業者がローンチウインドウを提供すると干渉解析結果を提供すること、そして打上げ許可申請の代行サービスを行ってくれること、の2点が挙げられている。

表 2-4 打ち上げ事業者のアンケート及びヒアリング結果

質問事項	回答
現在利用している SSA 関連サービス	■ISS 及び ISS に離合する有人宇宙機の軌道情報は、NASA TOPO Trajectory Web (TTW) より、軌道データ、軌道計画を入手
	■上記以外の有人機 (中国の有人宇宙機等) は、Space Track の TLE を入手している

LEO（低軌道）コンステレーション対策	■衝突確率が有意に高まり、ローンチウインドウが確保できない恐れがある。対処方針、対処方法は今後要検討
日本独自 SSA システムに求めること	■ロケットの飛行経路とローンチウインドウ情報を提供すると、干渉結果を提供してくれる機能
	■打上げ許可申請代行サービスの機能

出所) 三菱総合研究所作成

b. 衛星運用事業者（衛星運用中）

衛星運用事業者（既に衛星運用を実施中）のアンケートとヒアリングの結果を表 2-5 に示す。

衛星運用事業者（既に衛星運用を実施中）が現在利用している SSA 関連サービスは、CSpOC からの情報（TLE,CDM,TIP）のほかに、独自アセット（電波測距、テレメータ等）や外部からのデータ(CDDIS 等)を利用した接近解析や軌道決定等も行っている場合があることが分かった。

また、近年のコンステレーション衛星の増加に伴い、CDM 受信や接近回避の頻度は確実に増加傾向であり、回避行動による燃料消費や予定軌道変更によるビジネス機会の喪失等も問題になってきていることが分かった。一方で、低軌道衛星事業者は LEO コンステレーション対策を課題として認識しているが具体的な対策があまり進んでいないことも分かった。この背景として、回避行動に対するインセンティブ付与や回避のための国際交渉の煩雑さなどの課題がある点が挙げられている。

表 2-5 衛星運用事業者(既に衛星運用を実施中) のアンケート及びヒアリング結果

質問事項	回答
現在利用している SSA 関連サービス	■ 独自のアセットで、軌道決定を実施、又は CSpOC TLE 利用している ➤ 衛星の軌道決定は、電波測距、アンテナ測角、レンジングローデータ、テレメトリデータ、GPS 受信データ、地上衛星追跡ネットワーク、SLR データを利用 ➤ 独自の衛星監視局（海外を含む） ➤ 対象物体（衛星、デブリ）の軌道決定は、レーダ（LEO）、光学望遠鏡（GEO）によるデータを利用

	■ CSpOC から情報利用 ➢ TLE：必要に応じて利用 ➢ CDM：最大3回/日（取りに行くし、メールも届く） ➢ TIP：再突入前（取りに行くし、メールも届く） ➢ メール：スクリーニング依頼時、接近事象発生時 ➢ 接近解析 ✓ CSpOC から CDM を受領した上で、自ら解析を実施（最接近まで残された時間と衝突確率で判断し、衛星側に回避軌道制御を進言） ✓ 一定の条件を越えていた場合、CSpOC で再解析の上、回避を実施 ➢ 衝突回避解析・回避計画 ✓ 軌道制御後のある衝突確率を目標に最適な制御量と制御実施時刻を決定 ✓ 回避決定は、最接近時刻のおおむね24時間前 ✓ 回避制御後のデブリ接近有無はCSpOC頼み ➢ 接近回避の頻度 ✓ 年間最大で、3～6回 ➢ 接近事例、接近回避の頻度 ✓ 接近事例は確実に増加傾向（CDMを40～50受信、過去2年間で16～17回、保有衛星数合計で3、4回/年等の事例あり） ✓ 高度500km程度の小型衛星（Starlink、Flock等）のCDMが多い ➢ 宇宙天気 ✓ 大気密度モデルの入力パラメータとして、NICT、米国NOAAから、太陽フラックス情報、地磁気擾乱指数を毎日入手 ✓ 衛星異常時の故障解析データとしても活用 ➢ その他、衛星運用実施にあたり外部から入手している情報 ✓ GPS観測データ（CDDIS：GPS精密軌道決定のため） ✓ 地球回転パラメータ（USNO：座標変換のため） ✓ うるう秒情報等（IERS：時系を正しくするため） ✓ GPS信号間バイアス（CODE：GPS精密軌道決定のため） ✓ ANTEXデータ（IGS：GPS精密軌道決定のため）
LEO（低軌道）コンステレーション対策	■ 衛星の軌道決定の頻度を上げている。（デブリ接近リスクに備えている訳ではなく、衛星が利用する電波の周波数が上がってきた。必然的にアンテナ予想値の精度を高める必要が出てきたため、軌道決定頻度を上げてきた。） ■ PC上で誰でもデブリ回避軌道制御計画（LEO衛星用）を作成できるツールを作成し、運用に供している。今後要検討
国内運用の現状	■ GEO衛星でコロケーションの場合、接近事例（CDM受信）は、最多で数千件/年。（正しいCDMを識別するのに時間を浪費してしまう。） ■ LEOコンステレーション衛星とのCDM受信が従来1回/月が、最近では1回/週に頻度が増加。 ■ 回避行動の実績は昨年1度のみだが、回避行動を取ると、予定した撮像場所を逃すことになり、顧客の要望に応えられず、売り上げが立たない。 ■ 回避行動をとると、貴重な燃料を消費すると共に、元の軌道に戻すのに2週間程度必要で、ビジネス機会を喪失する。

	■ 回避行動を決断した場合には、何らかのインセンティブが欲しい（補填） ■ 接近相手との回避のための国際交渉は、国を代表した機関にお願いしたい。（衛星運用者当事者間の交渉は好ましくない） ■ 交渉に必要なデータは全て提供する用意がある。
--	--

出所）三菱総合研究所作成

c. 衛星運用事業者（衛星運用を計画中）

衛星運用事業者（衛星運用を計画中）のアンケート及びヒアリング結果を表 2-6 に示す。

衛星運用事業者（衛星運用を計画中）における自衛星の軌道決定では、自社で実施予定の事業者と CSpOC や ESA 等の外部から軌道情報を入手する事業者に分かれることが分かった。また外部から軌道情報を入手する場合 CSpOC より高精度かつ適時性の高い SSA データを必要としている事業者も存在していることが分かった。

表 2-6 衛星運用事業者(衛星運用を計画中) のアンケート及びヒアリング結果

質問事項	回答
自衛星の軌道決定	■ 自社で実施する予定の事業者と実施しない予定の事業者に分かれる。 ■ 自社での軌道決定に用いる情報は GPS 受信機による情報。 ■ 自社で軌道決定しない事業者は、CSpOC、ESA から軌道情報入手。
外部から軌道情報を入手する場合の種類	■ 軌道上サービス提供のためには、CSpOC から提供されるものより高精度かつ適時性の高い SSA データが必要。具体的には ➤ クライアント物体の選定に必要な情報 ✓ クライアント物体のタンブリングレート（公開データは精度の点で不十分） ➤ サービス衛星の打上げ軌道の決定 ✓ 通常は、打上げ数ヶ月前からクライアント物体の軌道情報（位置、速度決定値、不確実性や確度、伝搬した値等）が必要 ➤ ランデブフェーズにおける絶対航法 ✓ クライアント物体の軌道情報（位置、速度決定値、不確実性や確度、伝搬した値等）を 1 日数回、安定的に必要（CSpOC の情報では対応できない。）

出所）三菱総合研究所作成

d. 海外ユーザ

海外ユーザ候補のアンケート結果を表 2-7 に示す。

アンケート回答のあったタイでは、現状 SSA 対応は CSpOC とデータシェアリングアグリーメントを締結し自ら解析を実施しており、SSA に関しては日本と協力する意思も示していることが分かった。

また、宇宙利用の長期持続性を確保するため、IADC ガイドラインに準拠した衛星開発や、新たなデブリ緩和と宇宙持続可能性ガイドラインの策定、規制やルール策定など、デブリの低減処置には今後公的に取り組む必要があると認識していることが分かった。

表 2-7 海外の状況のアンケート結果

質問事項	回答
タイ (Dr. Thagoon Kirdkao : Director at Learning center for Earth Science and Astronomy)	■衛星開発のデブリ低減は、IADC ガイドラインに準拠 ■SSA 対応は、CSpOC とデータシェアリングアグリーメントを締結して、自ら解析を実施。 ■SSA に関して、日本と協力する意志あり。 ■宇宙利用の長期持続性を確保するためにどんな取り組みをしているかの問いに対して ➢ 民間セクタとの新たなデブリ緩和と宇宙持続可能性ガイドラインの策定 ➢ 新たな規制の策定と実施（最低基準など） ➢ 新しいルール of 策定（例えば必須の軌道内賠償責任保険の導入） ➢ 運用情報の提供（SSA サービスなど） コメント:各国は SSA 情報を共有する必要がある。 ■ ADR は 20 年後と予測 ■ 軌道上サービス（OOS）は 10 年後に実現される ■ デブリの低減処置は、公的対応が必要（税金の投入を含む）。また、デブリを発生した事業体も経費を負担すべき。（汚染行為に対する課金）

出所）三菱総合研究所作成

5) アンケートとヒアリングの整理（共通）

アンケート及びヒアリングにおいては、全カテゴリに対し、以下についての意見も聴取している。

- 現状の CSpOC が提供するサービスの問題点
- 日本独自の民生プラットフォームに求めること

a. 現状の CSpOC が提供するサービスの問題点

表 2-8 にアンケートで回答のあった現状の CSpOC の提供するサービスの問題点を示す。CSpOC から提供される情報の精度、タイミング、CSpOC への情報提供に対する問題点などが指摘されている。

表 2-8 現状の CSpOC の提供するサービスの問題点

カテゴリ	現状の CSpOC の問題点
精度	■ 衛星のマヌーバを考慮しないで比較しているため精度が低い ■ 衝突可能性のあるデブリの共分散値精度が低いため、衝突確率が高く算出され、不要なアクションを取らざるを得ない場合がある。
タイミング	■ 自社の回避マヌーバ後 24 時間は接近予測が実施されない（マヌーバ時刻、情報提供を行っていないためでもある。）

	■ 保有衛星のサービス一時停止に係るため、サービスの停止事前通知を考えると、5 日以上前の CDM 通知が望ましい
	■ 突然、1、2 日前に最接近を迎えるとの情報が CSpOC ホームページ上に記載され、衝突回避の準備が間に合わなかったことがある。（衛星オペレータと CSpOC 間の情報交換頻度が要因）
	■ 軌道情報更新のオンデマンド要求対応がない
CSpOC への情報提供	■ 衛星オペレータの軌道情報を CSpOC に送信した場合、その有効期間が短く、毎回送付しなければならない

出所) 三菱総合研究所作成

b. 日本独自の民生プラットフォームに求めること

表 2-9 にアンケート回答者が日本独自の民生 SSA プラットフォームに求めているサービス内容を示す。既存の CSpOC にて提供されているサービスとの比較や差別化要素、情報提供体制や情報提供方法等について意見があった。既存 CSpOC のサービスとの比較や差別化要素ではサービス内容やインターフェースの共通性を求める一方で、不足する機能を補完するサービスの提供を期待する意見があった。

表 2-9 日本独自の民生 SSA プラットフォームに求めるサービス内容

カテゴリ	日本独自の民生 SSA プラットフォームに求める事
サービス内容	■ CSpOC が 10 年以上かけてスペース・デブリ接近情報の内容、インターフェース、責任分界点の考え方を確立した（世界標準）。あえて独自性を入れない方がよい。
	■ CSpOC サービスの内容とレベルが変わらなければ、日本独自 SSA システムは不要。ただし、CSpOC サービス低下を補う機能があると有意義である
	■ CSpOC または Classified カタログを扱うことができる機関がデブリ接近解析を実施した結果を CDM 形式で衛星オーナー（オペレータ）へ伝送するサービスになるとよい。
	■ 民間衛星オーナーが保有衛星を守るために必要な情報は CDM だけ。CDM やスクリーン結果に関して、CSpOC と同等なサービスができるなら、言語が日本語、時差の壁がないので有益と考える
	■ 以下の情報提供サービスを希望 ➢ 軌道上物体位置情報/軌道情報 ➢ 接近解析（衛星、デブリ、ロケット） ➢ スペース・デブリ衝突回避運用支援サービス ➢ 軌道離脱・廃棄運用支援サービス、再突入解析 ➢ PRO に必要な軌道情報提供サービス
	■ 宇宙天気情報に関しては、NICT との協業が必要
	■ 軌道情報に、位置の共分散値（X、Y、Z）が望ましい。（AGI 社の無償 STK コンパチのフォーマットが望ましい。
	■ 精度情報の開示、更新頻度の保証がされた軌道情報の提供が望ましい。（CSpOC に対する不満）これにより、保守的なマヌーバをせず、より正確にマヌーバを行うタイミングや回避制御量を決定できる。

	■ 他国の事情に左右されず、継続したサービスを期待（自律性の確保）
	■ 精度情報を補う形で衝突回避に必要な CSpOC の CDM をふるいにかける支援が有効。
	■ 軌道上物体のイメージング情報は、不具合発生時情報として有効。
	■ 電波干渉発生時の原因究明調査支援は有益であり、海外衛星との干渉が発生した場合のエビデンスが取得できるメリットがある。
	■ 整備される場合、ユーザの要望を事前に聴取し、意見を反映して欲しい。

出所) 三菱総合研究所作成

表 2-10 にアンケート回答者が日本独自の民生 SSA プラットフォームに求めている事を示す。サービス料金については、CSpOC の基本情報提供が無償であることから、無償を求める意見が多く、金額により利用する等の意見も寄せられた。情報提供に対する要求については、民間 SSA プラットフォームからの情報提供時のインターフェースや情報提供先に関する希望が寄せられている。また運用スタンスについては、衛星運用に必須の SSA と、安全保障に必要な SSA を混同しないようにすべきとの意見や、民間 SSA が CSpOC のバックアップシステムとして運用されることへの期待や留意点の意見があった。

表 2-10 日本独自の民生 SSA プラットフォームに求めること

カテゴリ	日本独自の民生 SSA プラットフォームに求める事
サービス料金	■ 接近警報は公益のため、「無料」にすべき。
	■ 高精度かつ無料（または廉価）のサービスが提供されるなら採用を検討したい。
	■ サービスの有料化：様々な回答あり。（金額によるが利用したい、有料なら利用しない等）
情報提供に対する要求	■ 衛星オーナーの軌道歴を CSpOC または Classified カタログを扱うことができる機関へ届ける機能があるとよい。
	■ 機関間で何かの情報をインターフェースする場合、国際標準フォーマットでインターフェース項目を明確にすべき。日本独自はダメ。
	■ 日本独自の SSA システムを構築する場合、国内のロケット事業者、衛星事業者ともに情報提供には同意。
運用スタンス	■ 研究と実務、衛星運用に必須の SSA と、安全保障に必要な SSA は混同しないように気を付ける必要がある。
	■ CSpOC は必ずしも万全でないため、バックアップシステムとして期待。（CSpOC からの情報提供がなくなるリスクを考慮）

出所) 三菱総合研究所作成

2.1.2 ユーザ要求分析とサービスの具体化

(1) ユーザ要求分析

各社のアンケートおよびヒアリング結果を基に、ユーザ要求を整理した。

最初に、各社のアンケートやヒアリングに対する回答のうち、内容が重複するニーズについては一元化を行うなど整理を行った。表 2-11 に重複するニーズの整理例を示す。

表 2-11 アンケート回答の重複したニーズの整理例

アンケート回答	ニーズ整理結果
デブリの衝突確率予想（をしてほしい） ¹	デブリの人工衛星への接近予測を提供してほしい。
デブリの各衛星への危険度判定監視の機能（がほしい）	
デブリ（稼働中の人工衛星を含む）の人工衛星との接近予測（をしてほしい）	
ΔV 提案など、自衛星に特化したサービス提供（がほしい）	ΔV 計画の提案をしてほしい。
衝突回避の運用をするにあたり、ΔV 量計算等をシミュレーションできるツール（がほしい）	
ΔV 計画の提案があると有益である。	

出所）三菱総合研究所作成

続いて、重複を整理した一つ一つのニーズに基づき、民生 SSA システムに対するユーザ要求を整理した。その一部を抜粋して表 2-12 に示している（全ての結果については別添の表を参照のこと）。

表 2-12 ユーザ要求分析（一部抜粋）

ユーザのニーズ	ユーザ要求
有人物体に加えて無人物体も対象とした打上げ日時の解析をしてほしい。	無人物体の打上げ接近解析を行うこと
打ち上げ直前(前日等)の最新の軌道情報で接近解析してほしい。	最新(打上げ直前)軌道情報での接近解析を行うこと
オンデマンドで接近解析情報を提供してほしい。	オンデマンドで接近解析を行うこと
ローンチウインドウ情報の登録による干渉結果を提供してほしい。	ローンチウインドウ登録による干渉解析を行うこと
軌道上物体位置情報（TLE）を提供してほしい。	軌道上物体位置情報（TLE）を提供すること
RPOに必要な情報を提供してほしい。	RPOに必要な情報を提供すること。
ロケット上段の情報を提供してほしい。	ロケット上段情報を提供すること

¹ 「どのようなサービスを有するべきか」等の質問への回答のため、体言止めの回答が多かった。ニーズとして分かりやすく表記するために、「してほしい」等の文章にして示している。

ユーザのニーズ	ユーザ要求
デブリ(稼働中の人工衛星を含む)の人工衛星への接近予測を提供してほしい。	デブリの接近解析を行うこと
軌道制御後の予測軌道に対する接近解析をしてほしい。	軌道制御後の予測軌道に対する接近解析を行うこと
高精度なスクリーニング機能が欲しい(観測可能なデブリが増えることによる誤アラートを減らすことが可能な精度)。	不要なアラートを減らすスクリーニングを行うこと
分散値が含まれない軌道予測暦へも対応してほしい。	分散値が含まれない軌道予測暦にも対応したスクリーニングを行うこと
不要な CDM をスクリーニングしてほしい。	不要なアラートを減らすスクリーニングを行うこと
最接近日から余裕を持った段階で CDM を発行してほしい(4~5 日前)。	最接近日の 4~5 日前に CDM を発行すること
マヌーバも考慮した CDM 発行をしてほしい。	マヌーバの情報を加味した CDM を発行すること
低軌道～静止軌道の衛星向けの CDM 発行をしてほしい。	低軌道～静止軌道の衛星を対象とした CDM を発行すること
最接近距離および日時(分秒単位)を通知する CDM 発行をしてほしい。	最接近距離と最接近日時(分秒単位)で通知する CDM を発行すること
ΔV 計画の提案をしてほしい。	接近回避方法の立案(ΔV 計画)を支援する情報を提供すること
加速・減速のどちらで回避するべきかの情報提供をしてほしい。	接近回避方法の立案(加速・減速)を支援する情報を提供すること
再突入解析してほしい。	再突入解析を行うこと
軌道離脱・廃棄運用支援をしてほしい。	軌道離脱・廃棄運用を支援する情報を提供すること
宇宙天気情報(放射線、陽子線フラックス等)を提供してほしい。	宇宙天気情報(放射線、陽子線フラックス等)を提供すること
画像情報(光学望遠鏡/電波センサ等)を提供してほしい。	画像情報(光学望遠鏡/電波センサ等)を提供すること(故障要因解析用)
衛星表面・内部に電子・プロトンがどれくらいのエネルギー分布を持ち、どれくらいのフラックスで貫通するかに関する情報提供をしてほしい。	衛星内部・外部の電子・プロトンの情報を提供すること
衛星画像を提供してほしい。	衛星の状況を撮像した画像を提供すること
高精度なデブリを観測してほしい。	デブリ観測情報を提供すること
米国等のデータベースを取り込んでほしい。	他国のデータベース情報を提供すること
他の SSA システムとの相互運用性を有してほしい。	他のシステムと相互運用性を担保すること
クライアント物体の選定における情報収集でのクライアント物体のタンプリングレートが欲しい(公開データベース等でも入手可能であるが、精度の上で十分ではない)。	タンプリング衛星のタンプリングレートを提供すること
衛星運用事業者の連絡窓口一覧を提供してほしい。	衛星運用事業者の連絡窓口の情報を提供すること
STM 情報を提供してほしい。	STM 情報を提供すること

出所) 三菱総合研究所作成

(2) サービスの導出

ユーザ要求の整理結果を基に、想定される民生 SSA サービスを導出した。具体的には、整理したそれぞれのユーザ要求からその要求を満たすサービスを導出した後、導出されたサービスが重複するものについては一つのサービスに統合を行った。

以下に、サービスごとにユーザ要求をグルーピングしたものを示す。なお、衛星モニタリングサービスとは、運用中の衛星に故障等が発生した際の検知や故障要因の解析のために、運用する衛星を定期的にモニタリングするサービスのことである。

- 打上時接近解析に関するユーザ要求
 - 無人物体の打上げ接近解析を行うこと
 - 最新（打上げ直前）軌道情報での接近解析を行うこと
 - オンデマンドで接近解析を行うこと
 - 打上げ計画に十分な精度の接近解析を行うこと
 - 軌道変更も含めた接近解析を行うこと

- ローンチウインドウ解析に関するユーザ要求
 - ローンチウインドウ登録による干渉解析を行うこと

- 軌道情報提供に関するユーザ要求
 - 軌道上物体位置情報（TLE）を提供すること
 - RPO に必要な情報を提供すること。
 - ロケット上段情報を提供すること
 - デブリ発生情報を提供すること
 - classified 衛星情報を提供すること
 - 軌道上位置の共分散値を提供すること
 - 軌道の時間変化情報を提供すること
 - 過去の軌道制御履歴情報を提供すること
 - オンデマンドで軌道情報を提供すること

- 衛星運用時接近解析に関するユーザ要求
 - デブリの接近解析を行うこと
 - 軌道制御後の予測軌道に対する接近解析を行うこと

- スクリーニングに関するユーザ要求
 - 不要なアラートを減らすスクリーニングを行うこと
 - 分散値が含まれない軌道予測暦にも対応したスクリーニングを行うこと
 - コロケーション衛星を考慮したスクリーニングを行うこと

- CDM 発行に関するユーザ要求
 - 最接近日の 4～5 日前に CDM を発行すること
 - マヌーバの情報を加味した CDM を発行すること
 - 低軌道～静止軌道の衛星を対象とした CDM を発行すること
 - 最接近距離と最接近日時（分秒単位）で通知する CDM を発行すること
 - ユーザ側で精度、頻度を操作可能な形で CDM を発行すること
 - 国際的に統一された規格・方式で CDM を発行すること
 - 接近状況を視覚的に把握できる形で CDM を発行すること
 - Classified 衛星も考慮した CDM を発行すること
 - CDM 発行の基準値を設定できること
 - CDM を衛星、期間、最接近距離、衝突確率でフィルタリング可能とすること。

- 回避計画立案支援に関するユーザ要求
 - 接近回避方法の立案（ ΔV 計画）を支援する情報を提供すること
 - 接近回避方法の立案（加速・減速）を支援する情報を提供すること
- 再突入解析に関するユーザ要求
 - 再突入解析を行うこと
- 軌道離脱・廃棄運用支援に関するユーザ要求
 - 軌道離脱・廃棄運用を支援する情報を提供すること
- 宇宙天気情報提供に関するユーザ要求
 - 宇宙天気情報(放射線、陽子線フラックス等) を提供すること
- 衛星モニタリングサービスに関するユーザ要求
 - 画像情報（光学望遠鏡/電波センサ等）を提供すること（故障要因解析用）
 - 衛星内部・外部の電子・プロトンの情報を提供すること
 - 衛星内部・外部の最大帯電電位の情報を提供すること
- 観測情報提供に関するユーザ要求
 - 衛星の状況を撮像した画像を提供すること
 - デブリ観測情報を提供すること
 - ロケット第2段による観測情報を提供すること
 - 宇宙から観測した情報を提供すること
- 他のデータベース情報の提供に関するユーザ要求
 - 他国のデータベース情報を提供すること
 - 他のシステムと相互運用性を担保すること
- その他情報提供（衛星運用企業の連絡先情報の提供等）に関するユーザ要求
 - タンブリング衛星のタンブリングレートを提供すること
 - 衛星運用事業者の連絡窓口の情報を提供すること
 - 民間 SSA サービスプロバイダーの情報を提供すること
- 打上申請支援に関するユーザ要求
 - （なし）
- STM（Space Traffic Management、宇宙交通管理）に関するユーザ要求
 - STM 情報を提供すること。

最終的に、ユーザ要求から以下に示すサービスが導出された。

- 打上時接近解析
- ローンチウインドウ解析

- 軌道情報提供
- 衛星運用時接近解析
- スクリーニング
- CDM 発行
- 回避計画立案支援
- 再突入解析
- 軌道離脱・廃棄運用支援
- 宇宙天気情報提供
- 衛星モニタリングサービス
- 観測情報提供
- 他のデータベース情報の提供
- その他情報提供（衛星運用企業の連絡先情報の提供等）
- 打上申請支援
- STM（Space Traffic Management、宇宙交通管理）

なお、これらのサービスは以下に示すように、打上げから衛星運用、そして廃棄までの一連のプロセスをカバーする形となっている。

- 打上げ事前準備（打上申請支援、ローンチウインドウ解析）
- 衛星の打上げ運用（打上時接近解析）
- 定常運用（衛星運用時接近解析、CDM 発行等）
- 廃棄運用（再突入解析、軌道離脱・廃棄運用支援）
- 共通（軌道情報提供、宇宙天気情報提供）

(3) サービスの具体化

ユーザ要求から整理した各サービスについて、サービス内容を具体化した。サービス内容の具体化にあたっては、前述のユーザ要求を踏まえたものとした。

なお、衛星モニタリングサービスについては、潜在的なニーズに対応するものとして、宇宙天気、他衛星状況、電波干渉情報と紐づけた情報提供を行うサービスとして具体化を行った。表 2-13 にその結果を一部抜粋して掲載している（全ての結果については別添の表を参照のこと）。

表 2-13 民生 SSA サービスの具体化（一部抜粋）

提供サービス	サービス概要	具体的なサービス内容
①打上時接近解析	● 打上け計画に基づいた打ち上げ時接近解析と打上げ直後の接近解析サービス	● 無人物体も含む最新軌道情報(マヌーバ情報含む)での解析 ● オンデマンドでの解析
②ローンチウィンドウ解析	● 他の打上げや宇宙物体による影響が小さいローンチウィンドウの解析サービス	● オンデマンド解析 ● 多数物体や小型デブリ解析（10cm以下）に対するウィンドウ解析
③軌道情報提供	● 希望する物体の軌道情報(軌道暦、TLE等)の提供サービス	● オンデマンド高頻度で継続的な解析 ● RPO必要情報やClassified衛星の軌道情報
④衛星運用時接近解析	● 運用中の衛星に対するデブリを含む宇宙物体との接近解析サービス	● オンデマンド高頻度継続解析
⑤スクリーニング	● コロケーション衛星の考慮等、不要なアラートを減らすスクリーニングサービス	● オンデマンド高精度スクリーニング ● 不要CDM低減のためのスクリーニング
⑥CDM発行	● マヌーバ情報等の最新情報を加味したCDM発行サービス	● 余裕を持ったCDM発行 ● 高精度高精度（最新マヌーバ情報解析等による）CDM発行
⑦回避計画立案支援	● 接近回避計画（ΔV計画）の立案支援サービス	● マヌーバ後の解析含む情報提供 ● 高精度回避計画
⑧再突入解析	● 運用を終了した衛星の再突入解析を行うサービス	● オンデマンド+スクリーニング ● 再突入物体も含む接近解析やCDM提供
⑨軌道離脱・廃棄運用支援	● 運用を終了した衛星軌道離脱・廃棄運用を支援するサービス	● 墓場軌道遷移後の光学観測
⑩宇宙天気情報提供	● 宇宙天気情報を提供するサービス	● 高予測精度宇宙天気情報提供 ● 過去データ参照や衛星への影響解析サービス提供
⑪衛星モニタリングサービス	● 特定の衛星をモニタリングして、故障解析時に参考となる情報を提供するサービス	● 継続的な外観情報提供 ● 宇宙天気、他衛星状況、電波干渉情報と紐づけ情報提供
⑫観測情報提供	● 他のシステムによる観測情報を提供するサービス	● 高精度オンデマンド観測情報提供 ● 0.7m第2段階観測情報提供
⑬他のデータベース情報の提供	● 他のSSAシステムの情報を提供するサービス	● 宇宙配備観測衛星からの情報提要
⑭その他情報提供	● ユーザーが求めるその他の情報を提供するサービス	● 衛星運用事業者の連絡窓口の情報等
⑮打上申請支援	● 申請時間の短縮につながる打上申請支援を行うサービス	● 安価な支援サービス

出所）三菱総合研究所作成

2.2 サービスに必要なデータ入手検討

A パート「ニーズ調査およびそれに基づくサービスの定義」では、ニーズ調査を通じてユーザのニーズを満たすサービスを具体化した。ここ B パートでは、その具体化されたサービスを実現するために必要なデータの入手方法を検討した。具体的には、「B-1. 入手可能なデータの整理」、「B-2. サービス実現に必要なデータの整理」、「B-3. 求められるサービスの充足度（ギャップ）の分析」、「B-4. 統合・分析の在り方検討」の 4 ステップで検討した。「B-1」～「B-4」の関係を図 2-1 に示す。

「B-1. 入手可能なデータの整理」では、民生プラットフォームの検討にあたり、まず既存の機関・企業からどのような SSA 関連のデータ情報が提供されているかを調査・整理した。

「B-2. サービス実現に必要なデータの整理」では、A パート「ニーズ調査およびそれに基づくサービスの定義」のアウトプットであるユーザが求めるサービスに対して、そのサービスの実現に必要なデータを整理した。具体的には、「B-2-1 サービスに必要なデータを分類」、「B-2-2 各サービスのデータ種類・要件を整理」の 2 ステップで検討した。

「B-3. 求められるサービスの充足度の分析」では、「B-1. 入手可能なデータの整理」と「B-2. サービス実現に必要なデータの整理」を比較し、既存の機関・企業から入手可能な SSA 関連データが、ユーザの求めるサービスの実現に必要なデータ要件をどの程度満たしているか、満たせているかのギャップを分析した。具体的には、「B-3-1. 既存システムが提供するデータ整理」、「B-3-2. B-3-1 と B-2-2 の結果を比較・分析」の 2 ステップで検討した。

「B-4. 統合・解析の在り方」では、接近解析を例として、プラットフォームが行う統合・解析について検討した。

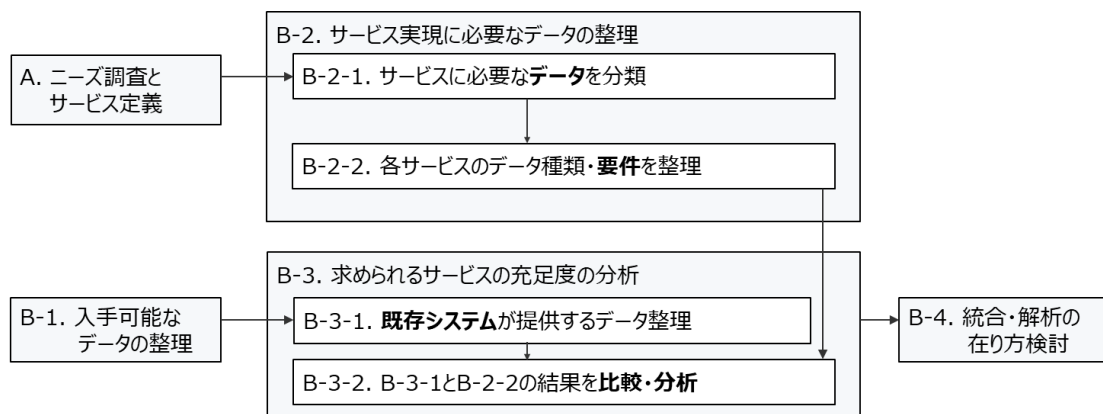


図 2-1 サービス・データ入手検討のフロー

出所) 三菱総合研究所作成

2.2.1 入手可能なデータの整理

民生 SSA プラットフォームによるサービスを検討するにあたり、ここ B-1 ではまず既存の機関・企業が提供する SSA 関連データ／サービスを調査・整理した。次に日本国内の天文観測施設についても調査・整理し、SSA に天文観測施設を活用できるかを検討した。

(1) 既存の機関・企業が提供する SSA 関連データ／サービス

1) SSA 関連データ／サービスを提供する既存の機関・企業

政府、民間企業に SSA 関連データ／サービスを提供する 15 機関・企業を調査対象とした。各機関・企業の一覧を表 2-14 に示す。

表 2-14 調査対象とした SSA 関連データ／サービスを提供する既存の機関・企業

国	官／民	機関・組織
日本	官	JAXA
米国	官	連合宇宙運用センター (CSpOC)
米国	民	Analytical Graphics Inc. (AGI) 社
米国	民	LeoLabs 社
米国	民	ExoAnalytic 社
米国	民	L3Harris 社
米国	民	Lockheed Martin 社
米国	民	Kratos 社
米国	民	Numerica 社
欧州	官	EU SST
ロシア	官	ROSCOSMOS
国際	—	International Scientific Optical Network (ISON)
国際	—	Space Data Association (SDA)
日本	官	NICT 宇宙天気予報センター
米国	官	気象局宇宙天気予報センター (NWS SWPC)

以下、これらの各機関・企業の概要、保有システム・設備、主な提供データ／サービス、最新動向や今後の計画を整理した。

a. JAXA (日本)

JAXA は、SSA 活動として、スペース・デブリの観測、軌道情報のデータベース化、衛星との接近解析、大気圏再突入予測を実施している。宇宙物体の軌道情報を日米（米側は CSpOC）相互に提供する体制となっている。保有システム・設備面では、美星スペースガードセンター（光学観測）、筑波宇宙センター（データ解析システム）の 2 拠点で SSA 活動を実施している。²また JAXA の使用する軌道計算アルゴリズムは、CSpOC が使用する SGP4 よりも高精度である。JAXA が提供する主なデータ／サービスには、軌道情報、スペ

² 上斎原スペースガードセンター（レーダ観測施設）は、2020 年 8 月に宇宙デブリ観測運用を終了している。

ース・デブリの軌道把握、衛星との接近解析、大気圏再突入解析等がある。最新動向や今後の計画として、JAXA はレーダ及び解析システムの能力向上や光学望遠鏡の更新を実施することが計画されている（2023 年に運用開始予定）。また現在、新たな SSA 解析システムである SAKURA（SsA Key technology Unified Research and Analysis system）の構築が進められている。



図 2-2 JAXA の SSA システムの構成

出所) JAXA 追跡ネットワーク技術センター https://track.sfo.jaxa.jp/business_overview/busi_over08.html
2021 年 3 月 15 日閲覧

b. 連合宇宙運用センター（Combined Space Operations Center: CSpOC）（米国）

CSpOC は 2005 年に設立され、カリフォルニア州バンデンバーグ空軍基地を拠点とし、18th Space Control Squadron（18 SPCS）とともに宇宙物体の特定や追跡を実施している。CSpOC は公称で直径 10cm 以上の宇宙物体 2 万 3000 個以上を追跡している。保有システム・設備面では、全球のセンサネットワークである宇宙監視ネットワーク（Space Surveillance Network: SSN）を運用し宇宙物体を追跡している。SSN は、30 カ所の地上レーダ、光学望遠鏡、6 機の衛星から構成されるネットワークである。CSpOC が提供する主なデータ／サービスには、宇宙物体の位置情報、衝突評価、廃棄／End-of-Life (EOL) 支援等がある。CSpOC は、専用ウェブサイト SPACE-TRACK.ORG を通じて SSA 関連サービスを提供している。最新動向や今後の計画としては、2020 年にクェゼリン環礁に配備した Space Fence が稼働を開始しており、SSN の能力向上が見込まれている。

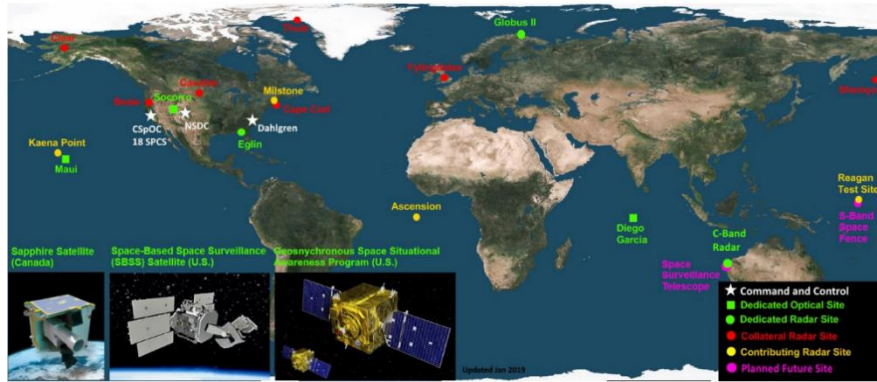


図 2-3 CSpOC の宇宙監視ネットワーク (SSN)

出所) SECURE WORLD FOUNDATION US Policy and Capabilities on SSA

<https://swfound.org/media/206348/weeden-us-policy-and-capabilities-for-ssa.pdf> 2021 年 3 月 15 日閲覧

c. AGI 社 (米国)

AGI 社は 1989 年に創業し、主に防衛・宇宙システム向けの Tool Kit を提供している。世界中に 5 万以上の顧客 (NASA、JAXA、ESA、CNES 等も含む) を有している。保有システム・設備面では、2014 年にデータセンター Commercial Space Operations Center (ComSpOC) を設立し、SSA サービスを提供している。AGI 社は独自に契約したセンサ、望遠鏡、RF アンテナ、レーダを含め、全世界からの情報をデータ解析してデータベース化を行っており、運用中の衛星であれば全て追跡可能としている。AGI 社が提供する主なデータ／サービスには、軌道情報、制御解析、接近解析、電波干渉等がある。AGI 社では、SSA データ利用のためのさまざまなソフトウェアを提供しており、専門能力がないユーザでも SSA サービスを利用することが可能である。最新動向や今後の計画としては、新たなセンサシステムを配備し、現在 20,000 個以上存在する直径 2cm 程の小さいデブリも追跡可能となる予定である。

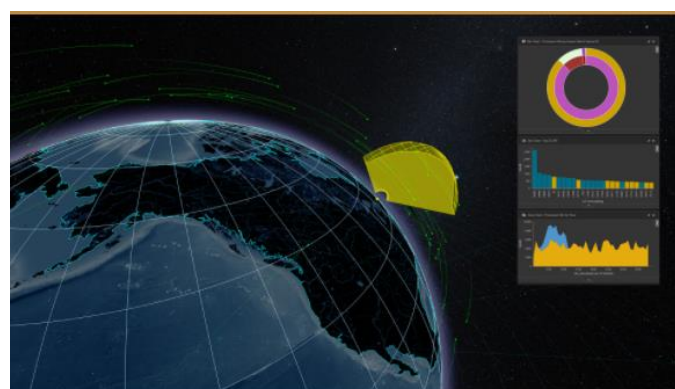


図 2-4 ComSpOC が提供する SSA ソフトウェアのイメージ

出所) AGI COMSPOC <https://comspoc.com/> 2021 年 3 月 15 日閲覧

d. LeoLabs 社（米国）

LeoLabs 社は 2016 年に創業し、地球低軌道上の物体のレーダ追跡サービスを提供している。同社は地球低軌道上の直径 10cm 以上の宇宙物体 14,000 個を追跡対象としている。保有システム・設備面では、米国（アラスカ州、テキサス州）とニュージーランドにフェーズドアレイレーダを保有しており、ニュージーランドのレーダでは S 帯を利用し直径 2cm の宇宙物体を追跡可能である。LeoLabs 社が提供する主なデータ／サービスには、追跡&監視サービス、衝突回避サービス、SSA サービス等があり、各サービスをウェブベースのサブスクリプションサービスとして提供している。また LeoLabs 社は機械学習アルゴリズムにより、リアルタイムかつデータドリブンな解析を提供している。最新動向や今後の計画としては、現在コスタリカに同社 4 か所目のフェーズドアレイレーダを建設中であり、2021 年前半に稼働開始が予定されている。赤道付近にレーダを設置することにより、観測能力の強化が図られる見込みである。

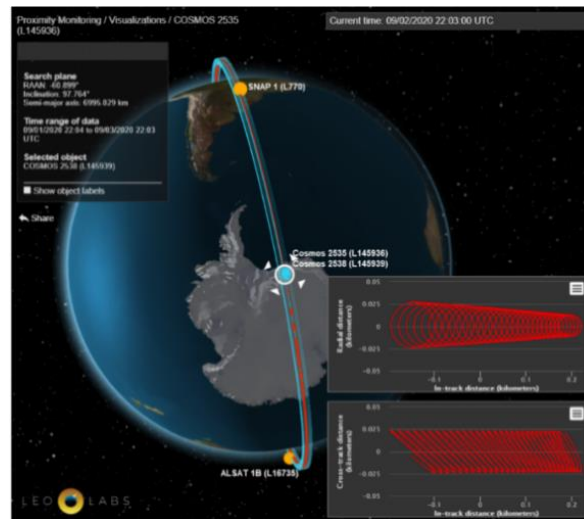


図 2-5 LeoLabs 社の SSA サービスのイメージ

出所) LeoLabs Space Domain Awareness <https://www.leolabs.space/space-domain-awareness/> 2021 年 3 月 15 日閲覧

e. ExoAnalytic 社（米国）

ExoAnalytic 社は 2008 年に創業し、米国政府や世界の民間企業向けに SSA、モデリング・シミュレーション、ミサイル防衛などのソリューションを提供している。保有システム・設備面では、全球商業 SDA 望遠鏡ネットワーク ExoAnalytic Global Telescope Network (EGTN) を保有し、複数の軌道上における宇宙物体を追跡している。EGTN により、静止軌道 (GEO)、長楕円軌道 (HEO)、地球中軌道 (MEO) を対象に、宇宙物体を定期的に検知、追跡、関連付けしている。自社の SSA ソフトウェアスイート ExoAnalytic Space Operations Center (ESpOC) がリアルタイムで複数センサからのデータを自動で融合し、クローズドループ追跡及びカタログメンテナンスを実現している。ExoAnalytic 社が提供する主なデータ／サービスには、観測データ、エンタープライズ向け ESpOC、ESpOC 宇宙カタログ、ESpOC 宇宙レポート等がある。最新動向や今後の計画としては、ExoAnalytic 社は 2019 年 4 月にカナ

ダの NorthStar Earth and Space 社と SSA 活動において締結することを発表しており、NorthStar 社が構築を進める衛星コンステレーションの宇宙センサを利用して自社のデブリ観測能力を強化する予定である。³



図 2-6 ExoAnalytic 社の SSA ソフトウェア ESPOC のイメージ

出所) ExoAnalytic Space Domain Awareness Solutions <https://exoanalytic.com/space-domain-awareness/> 2021 年 3 月 15 日閲覧

f. L3Harris Technologies 社（米国）

L3Harris 社は、2019 年に Harris 社と L3 Technologies 社の合併により誕生した大手航空・防衛企業である。SSA 関連取組みの一部として、米国防総省のセンサ、地上・宇宙センサ、アルゴリズム能力やツールの現代化を支援している。保有システム・設備面では、TCPED（タスキング・収集・処理・分析・配布）システム SpaceSentry や全球電気光学センサネットワークを保有し、静止軌道を定常的に監視している。また同光学センサネットワークにより、宇宙交通管理（STM）や安全飛行、異常調査を支援する準リアルタイムデータを収集している。L3Harris 社が提供する主なデータ／サービスには、SpaceSentry システムによる各種サービス（位置天文観測、測光観測、宇宙物体管理、マヌーバイイベント、接近評価、Patterns of Life）がある。最新動向や今後の計画としては、2020 年 3 月、L3Harris 社は米宇宙軍宇宙ミサイルシステムセンター（SMC）から Maintenance Of Space Situational Awareness Integrated Capabilities (MOSSAIC) 契約（期間 10 年、12 億米ドル規模）を獲得しており、同軍の宇宙監視センサネットワークを維持・現代化する予定となっている。⁴

³ SpaceNews ExoAnalytic, NorthStar E&S team up on space situational awareness

<https://spacenews.com/exoanalytic-northstar-es-team-up-on-space-situational-awareness/> 2021 年 3 月 15 日閲覧

⁴ GOVCONWIRE L3Harris Awarded \$1B Space Force Contract for Situational Awareness Tech Modernization, Sustainment Services <https://www.govconwire.com/2020/03/l3harris-awarded-1b-space-force-contract-for-situational-awareness-tech-modernization-sustainment-services/> 2021 年 3 月 15 日閲覧

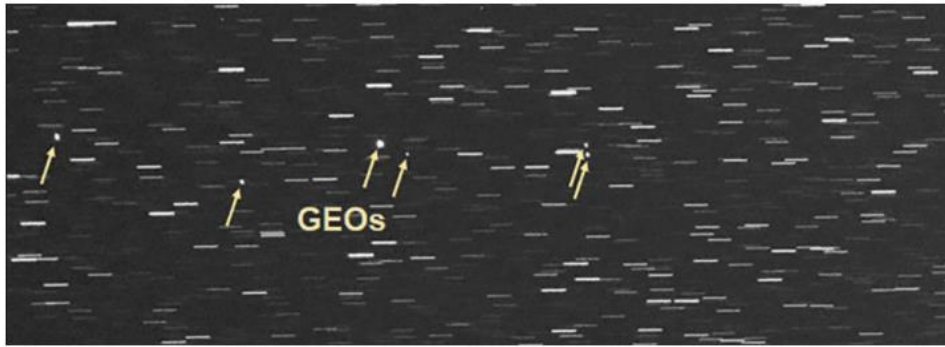


図 2-7 L3Harris 社の定常センサが捉えた画像

出所) L3Harris SPACESENTRY

<https://www.l3harris.com/sites/default/files/2020-10/l3harris-spacesentry-sell-sheet-sas.pdf> 2021 年 3 月 15 日閲覧

g. Lockheed Martin 社（米国）

Lockheed Martin 社は、1995 年に Lockheed 社と Martin Marietta 社が合併して誕生した大手航空・防衛企業である。2014 年、米空軍の監視システム Space Fence の開発・製造契約を受注した（Space Fence は 2020 年に運用を開始しており、第 2 拠点も 2021 年に運用開始が計画されている）。2017 年には、軍事衛星向けのソフトウェア iSPACE を発表しているほか、米戦略軍 (USSTRATCOM) 等にデータを提供している。保有システム・設備面では、FireOPAL 等の自社センサネットワークを保有している。また欧州の民間 SSA 事業者からデータ提供を受けているほか、民間の SSA 事業者 LeoLabs 社、Numerica 社、Kratos 社、ExoAnalytic 社等とデータを共有している。Lockheed Martin 社が提供する主なデータ／サービスには、他事業者と連携した軌道情報や制御情報、指揮管制システム C2BMC 機能や衝突・制御・分裂・打上げに関する脅威分析等がある。最新動向や今後の計画としては、レーダの信号処理をするソフトウェア開発に注力するとしている。



図 2-8 Lockheed Martin 社の軍事運用ソフトウェア iSPACE と他システムとの連携

出所) Lockheed Martin iSPACE

<https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/rms/photo/inspace/inspace-brochure.pdf> 2021
年 3 月 15 日

h. Kratos Defense & Security Solutions 社（米国）

Kratos Defense & Security Solutions 社は 1994 年に創業し、国家安全保障ソリューションを提供している。2011 年には、地上システムや SSA に関する技術を持つ Integral Systems 社を買収している。保有システム・設備面では、21 の観測所と 80 を超えるセンサ（L/S/C/X/Ku バンド）を保有し、グローバルな RF ネットワークを構成している。またネットワークオペレーションセンターでは 24 時間体制の監視を行っている。Kratos 社が提供する主なデータ／サービスには、衛星監視、相関／予測分析、帯域幅使用率、受動的測距、衛星間の干渉低減等がある。最新動向や今後の計画としては、小型の LEO 衛星について、動的にリソース割当てや状況把握を行う地上システムを開発中である。

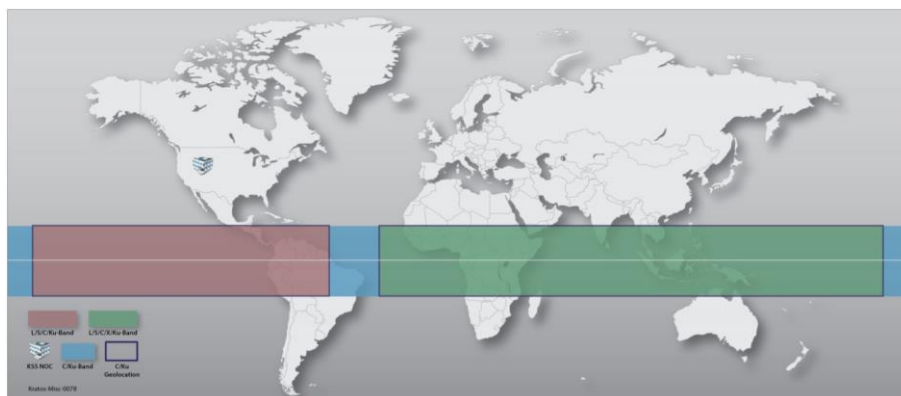


図 2-9 Kratos 社の RF 収集インフラ

出所) KRATOS RD Space Domain Awareness Services

<https://www.kratosdefense.com/-/media/datasheets/ds-312-rf-space-situational-awareness-services.pdf> 2021
年 3 月 15 日閲覧

i. Numerica 社（米国）

Numerica 社は 1996 年に創業し、防空、ミサイル防衛、宇宙防衛の事業ドメインでソリューションを提供している。保有システム・設備面では、世界中の 130 を超える光学センサからなる NTN（Numerica Telescope Network）を保有しており、空軍研究所、宇宙ミサイルシステムセンター、防衛イノベーションユニットと契約し、米軍に宇宙データや分析サービスを提供している。Numerica 社が提供する主なデータ／サービスには、宇宙カタログ保守、衛星変化検知、マヌーバ検知、衝突回避等がある。2020 年 4 月には、衛星オペレータ向けに宇宙監視サービスを開始すると発表した。Numerica 社のデータは、米国防総省と商用 SSA のデータを組み合わせたデータライブラリ UDL（Unified Data Library）を介して利用できる。最新動向や今後の計画としては、2021 年に観測所を 5 か所追加する予定であるほか、軌道決定、変化の検出、Pattern-of-Life 学習、薄暗いオブジェクトの検知に関する技術を改善している。

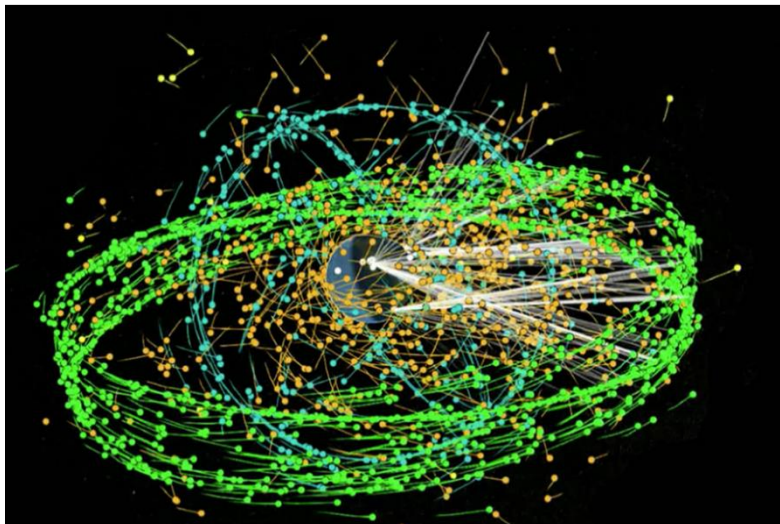


図 2-10 Numerica 社の追跡サービスのイメージ

出所) Numerica Argus: A Wide Field of View Sensor

<https://www.numerica.us/argus-a-wide-field-of-view-sensor/> 2021 年 3 月 15 日閲覧

j. EU SST（欧州）

EU SST（Space Surveillance & Tracking）は、2014 年に設立された、宇宙監視や追跡を行う欧州のコンソーシアムである。欧州 8 か国（フランス、ドイツ、イギリス、スペイン、イタリア、ルーマニア、ポーランド、ポルトガル）がメンバーとして参加している。保有システム・設備面では、センサネットワークとしてレーダ 12 基、レーザ 4 基、望遠鏡 34 基を保有、運用し、このセンサネットワークをもとにデータベースとカタログを作成している。EU SST が提供する主なデータ／サービスには、衝突回避、再突入のリスク評価、フラグメンテーション分析等がある。最新動向や今後の計画としては、EU を離脱した英国の EU SST 内における役割が不透明である点が挙げられる。

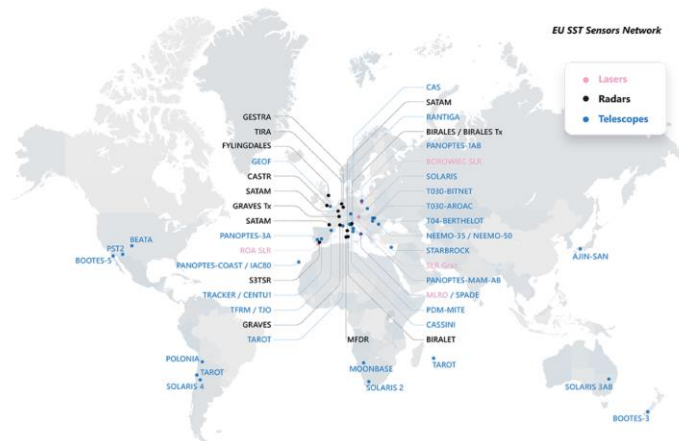


図 2-11 EU SST のセンサネットワーク

出所) EU SST Sensors Network <https://www.eusst.eu/about-us/> 2021 年 3 月 15 日閲覧

k. ROSCOSMOS（ロシア）

ROSCOSMOS は、1992 年に設立されたロシアの国家宇宙機関である。保有システム・設備面では、ロシア国内を中心として 20 か所以上に光学望遠鏡を有している。また ROSCOSMOS は光学望遠鏡を活用し地球に近い宇宙空間の物体を監視するシステム ASPOS OKP（Automated Warning System on Hazardous Situations in Outer Space）を開発し、同システムは 2016 年に運用が開始されている（なお運用は ROSCOSMOS との契約により Astronomical Scientific Center（ASC）が担当する）。EU SST が提供する主なデータ／サービスとしては、IADC（国際機関間スペースデブリ調整委員会）に対し、試験計画の情報を提供しているほか、デブリ接近通知やリスク分析を行っている。最新動向や今後の計画としては、宇宙デブリ監視のため、2027 年までに LEO 衛星を打ち上げる予定となっている。同 LEO 衛星は、Milky Way と呼ばれるロシアの SSA ネットワークの一部として運用される。

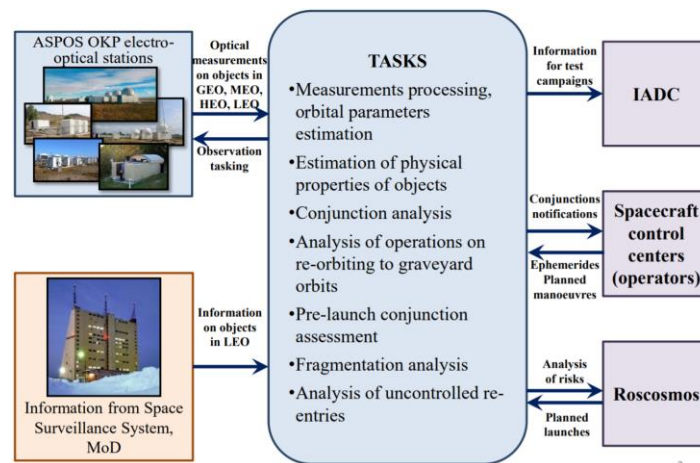


図 2-12 宇宙監視システム ASPOS OKP の役割

出所) Committee on the Peaceful Uses of Outer Space The use of ASPOS OKP System in the interests of ensuring the safety of space operations and increasing awareness about the situation in high orbits

<http://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/2018/copuos2018tech05E.pdf> 2021 年 3 月 15 日閲覧

I. International Scientific Optical Network (ISON) (国際)

International Scientific Optical Network (ISON) は 2004 年に設立され、オープンなボランティアベースのプロジェクトとして宇宙物体の観測を行っている。保有システム・設備面では、世界 17 か国に配備されている 100 基の光学望遠鏡で観測されたデータが望遠鏡保有者からボランティアベースで KIAM ballistic center に送付され、処理される仕組みとなっている（なお ISON は KIAM、Roscosmos、Vimpel からなる 3 セグメントに分かれており、各セグメントが独立したスケジューリングセンターと資金源を有している）。ISON が提供する主なデータ／サービスとしては、KIAM ballistic center で処理されたデータが、衝突リスク分析など宇宙状況の分析で使用されている。最新動向や今後の計画としては、軌道の正確な観測と新たな物体検知のため、大口径で広い FOV (Field of View) の光学望遠鏡の開発が行われている。

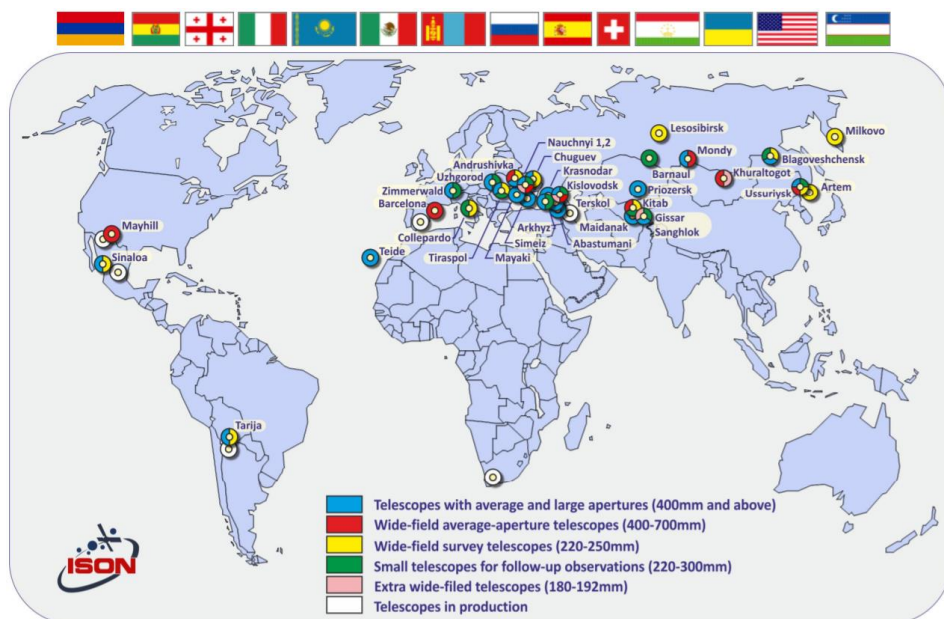


図 2-13 ISON の観測地点

出所) Russian Academy of Sciences Keldysh Institute of Applied Mathematics International Scientific Optical Network (ISON) activities on highly elliptical orbit (HEO), geosynchronous orbit (GEO) and Near-Earth objects (NEO) observation and analysis in 2013 <http://www.unoosa.org/pdf/pres/stsc2014/tech-26E.pdf>
2021 年 3 月 15 日閲覧

m. Space Data Association (SDA) (国際)

Space Data Association (SDA) は、2009 年に設立された NPO 組織である。Inmarsat 社や Intelsat 社等の GEO 衛星事業者、Spire 等の LEO 衛星事業者、NASA や NOAA 等の政府組織も SDA のメンバーであり、コミュニティ内で宇宙環境の安全や完全性に不可欠なデータの共有が行われている。保有システム・設備面では、AGI 社が管理する Space Data Center (SDC) を保有している。SDC は、メンバー企業からの飛行力学情報やその他宇宙物体情報等の利用可能なソースを取り込むプラットフォームである。SDC では、SDA メンバーが提供する Ephemeris を公開カタログの TLE や特別摂動と融合している。SDA が提供する主なデータ／サービスとしては、自動接近解析や電波妨害の低減等がある。最新動向や今後の計画としては、サードパーティのカタログデータに依存しないこと（現在は公開カタログと照合している）を目指している。



図 2-14 SDA のメンバー一覧

出所) Space Data Association An Overview of the Space Data Association and its Services
https://swfound.org/media/206314/froeliger_keynote.pdf 2021 年 3 月 15 日閲覧

n. NICT 宇宙天気予報センター（日本）

国立研究開発法人 情報通信研究機構（NICT）の宇宙天気予報センターでは、宇宙天気予報専門の情報配信サービスを行っている。宇宙環境に関する予報や警報の配信は 1949 年に始まっており、通信・放送インフラや宇宙システム等の運用の支援が目的となっている。保有システム・設備面では、電離圏観測施設を国内 4 カ所に保有するほか、米海洋大気庁（NOAA）の観測データを中心に、国内外の政府機関、観測施設、大学等からデータを収集している。NICT 宇宙天気予報センターが提供する主なデータ／サービスとしては、宇宙天気に関する各種指標の現況や予報の提供がある。様々な観測データ、数値計算結果、及び予測モデル等の結果を予報担当が総合的に解析して日々サービス提供を行っている。最新動向や今後の計画としては、ウェブサイトアクセスして宇宙天気情報を閲覧するだけでなく、メールで配信するサービスも行われている。

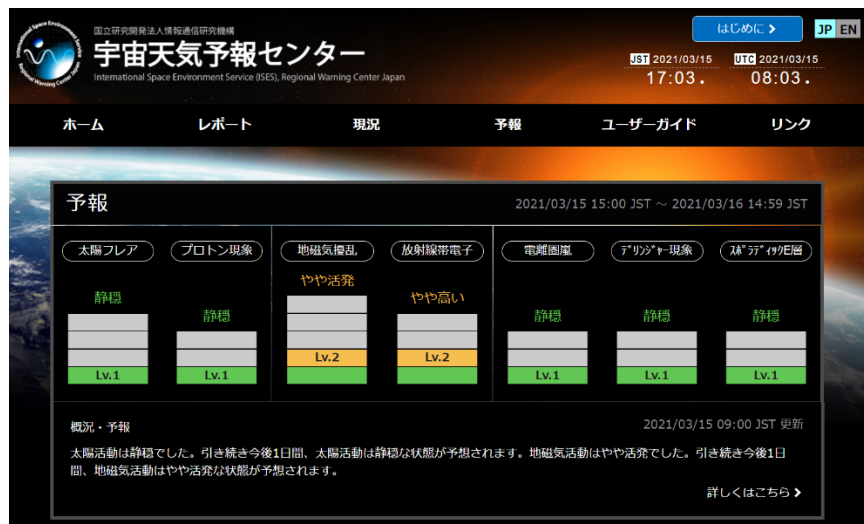


図 2-15 NICT 宇宙天気予報センターによる宇宙天気予報（一部）

出所）NICT 宇宙天気予報センター 予報 <https://swc.nict.go.jp/> 2021 年 3 月 15 日閲覧

o. 気象局宇宙天気予報センター（NWS SWPC）（米国）

米商務省の一機関である海洋大気庁（NOAA）に属する国立気象局宇宙天気予報センター（National Weather Service Space Weather Prediction Center: NWS SWPC）では、宇宙天気指標を日々更新し提供している。上述の NICT 宇宙天気予報センターのデータも、その多くが NOAA を一次ソースとしている。保有システム・設備面では、各種地球観測衛星（GOES、JPSS、DISCOVER 等）や世界各地の磁力計ネットワーク等を有している。NWS SWPC が提供する主なデータ／サービスとしては、各種宇宙天気予報、宇宙天気観測データ、レポート、モデル、サマリ、アラート等がある。各種データはテキストや画像データとして入手できるほか、サブスクリプションサービスも存在する。最新動向や今後の計画としては、Space Weather Workshop と呼ばれるイベントを毎年主催しており、産業、学术界や政府機関から参加者を招き、宇宙天気に関するあらゆるテーマについて議論を行っている。

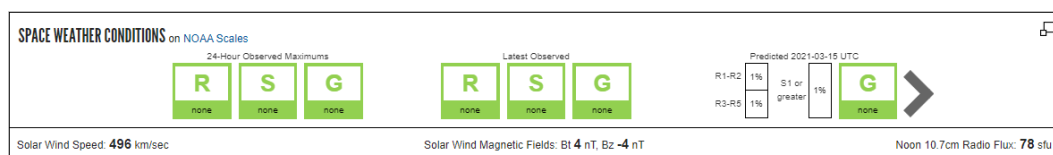


図 2-16 NWS SWPC による宇宙天気予報（一部）

出所）NWS SWPC SPACE WEATHER CONDITIONS <https://www.swpc.noaa.gov/> 2021 年 3 月 15 日閲覧

2) 既存の機関・企業が提供する SSA 関連データ／サービス一覧

次に、上述の 15 機関・企業が提供するデータ／サービスに着目し、その傾向について分析を行った。以下、既存の提供データ／サービスの一覧を表 2-15 に示す。

表 2-15 B-1 で対象とした既存の機関・企業が提供する SSA 関連データ／サービス

機関・組織	提供データ／サービス	データ入手
JAXA	• CSpOC より精度の高いアルゴリズムを使用した軌道予測 • スペース・デブリの軌道把握 • 人工衛星との接近解析 • 大気圏再突入解析 等	自前＋外部
CSpOC	• Basic：基本的な SSA 情報提供 • Emergency：異常解決、基本的緊急接近解析・衝突回避 • Advanced：打上げ接近解析、高度接近解析・衝突回避	自前
AGI	• 制御解析 • 接近解析 • 電波干渉解析	自前＋外部
LeoLabs	• 接近通知 • リアルタイム追跡	自前
ExoAnalytic	• 光学望遠鏡による観測データ • リアルタイム追跡 • 宇宙カタログ提供 • テストベッド環境の提供	自前
L3Harris	• 天文位置観測 • 測光観測 • 物体位置管理 • マヌーバイベントや接近の評価	自前
Lockheed Martin	• 指揮統制システム C2BMC • 衝突、制御、分裂、打上げに関する脅威の解析	自前＋外部
Kratos	• 干渉検知 • 相関／予測分析	自前＋外部
Numerica	• 衛星追跡 • リアルタイムかつ高精度の衝突警告	自前＋外部
EU SST	• 衝突検知 • 大気再突入のリスク評価 • 軌道内のフラグメント評価	自前＋外部
ROSCOSMOS	• 軌道パラメータ推定 • オブジェクト特性評価 • デブリ接近解析 • 墓場軌道への誘導分析 • 打上げ前の接近通知 • フラグメンテーション分析	自前＋外部
ISON	• 光学望遠鏡による観測データ • 衝突リスク分析	自前
SDA	• 高精度（GEO は 20cm 精度）の独自カタログ • タイムリーな衝突警告	自前＋外部
NICT 宇宙天気予報センター	• 太陽黒点やプロトン現象などの現況データ • 太陽領域、磁気圏領域の予報	自前＋外部
米国気象庁宇宙天気予報センター	• 地磁気活動などの予報 • 各種観測データ • 各種レポート、モデル、サマリ、アラート 等	自前＋外部

出所) 各種情報より三菱総合研究所作成

3) 既存の機関・企業が提供する SSA 関連データ／サービスの傾向分析

B-1 を通して収集した既存の機関・企業が提供するデータ／サービスの傾向として、半数以上のシステムでは、自前設備により収集したデータだけでなく、提携先の外部データも活用していることが明らかとなった。連携という観点では、JAXA と CSpOC のような日米連携のほか、EU SST (欧州各国)、SDA (主に欧米)、ISON (主にロシアと東欧) 等、複数の国の企業・団体による取組みが進んでいる。EU SST が接近情報 (CDM) のデータ供給を米国から受けているように、日本自前のデータで十分な情報が得られない場合には海外とのデータ連携が必要となる。連携の形としては、他社システムとの連携以外にも、SDA のように複数のメンバー企業からのデータを集約する構成も考えられる。一方、自前設備により収集したデータのみを使用している機関・組織 (CSpOC ほか) では、複数の国に観測拠点を設け、グローバルな観測ネットワークが構成されている。

また、観測データの提供だけでなく、いずれのシステムもユーザニーズを踏まえたサービス提供まで実施している。各機関・企業の提供するデータ／サービスを集約すると以下の通りとなる。

- データ
 - 対象軌道：低軌道、中軌道、高軌道、静止軌道、長楕円軌道
 - 対象物体：衛星、デブリ、宇宙物体すべて
 - 能力：直径 10cm 以上を捕捉 (CSpOC)、直径 2cm 以上も追跡可能／予定 (LeoLabs、AGI)
- サービス
 - 種類：軌道把握、接近解析、大気圏再突入解析、異常解決、接近評価、衝突回避、廃棄／End-of-Life (EOL) 支援、衛星制御、電波干渉、Pattern-of-life 分析、レポート、宇宙天気ほか
 - 提供方法：ウェブサイト (サブスクリプションサービス含む)、ソフトウェア、API 提供、メッセージ／アラート通知

また運用事業者の自衛星の観測を望むカスタマイズニーズに対応する形で、特に民間を中心に SSA サービスの拡充が見られる。

対象軌道については、低軌道、中軌道、高軌道、静止軌道、長楕円軌道と全体では多岐にわたるが、組織・企業毎に差異が見られ、ExoAnalytic 社 (光学望遠鏡) では中軌道、高軌道、静止軌道観測に専念する一方、LeoLabs 社 (レーダ) は低軌道の SSA ニーズ・市場の顕在化に対応し低軌道に特化している。光学望遠鏡による静止軌道観測とレーダによる低軌道観測が主であるが、米軍の SSA 衛星 (SBSS 等) による宇宙からのデブリ監視や、Kratos 社による RF レーダ監視等、観測手段が多様化してきている。

対象物体については、より小さなデブリの観測が可能になりつつある。CSpOC の観測対象が公称直径 10cm であるのに対し、AGI 社や LeoLabs 社では直径 2cm の物体を追跡可能 (または可能となる見込み) となっている。なお CSpOC も 2020 年設置の新たな Space Fence によりデブリ観測能力の向上が見込まれている。

軌道精度については、CSpOC の Space-Track.org では km 単位であるのに対し、AGI 社や

LeoLabs 社では低軌道上で 100m 以下であるとしている。

またサービスについて、民間企業が各衛星運用事業者向けのサービス（軌道把握、接近監視、衝突回避等）を提供するようになってきていることがわかる。

上述の通り、民間企業によるサービスが拡充する一方で、CSpOC が SSA サービスの基盤であることに変わりはない。デブリ接近解析に必要な Classified な物体の軌道情報については民間では扱えないことや、CSpOC では打上げ事業者向けサービス（打上げ時の接近解析、初期軌道決定）や廃棄運用支援まで提供していることも大きな差異である（民間もロケット追跡等のサービスはあるが補完的）。

4) 米国と欧州のデータ連携

上述の SSA データ連携に関連する米国と欧州の動向を以下に示す。

米国では、2018 年 6 月にトランプ大統領が宇宙政策大統領令 3 号 (Space Policy Directive-3: SPD-3) に署名し、衛星オペレータに対する情報提供の責任が国防総省 (DoD) から商務省 (DoC) へ移管されることとなった。⁵SPD-3 を受けて、商務省は新たなクラウド型 SSA システム OADR (Open-Architecture Data Repository) の開発を進めている。また 2019 年 6 月に国務省と商務省の共催で開催された Space Enterprise Summit では、政府・民間セクタ・国際パートナー間の協力について議論がなされ、米国と欧州 EU SST との間でデータ共有を図りたいとの言及もあった。商務省では現在、OADR に入力されるセンサデータを国際パートナーへ無償で提供するかどうかが議論が進められている。

欧州では、EU SST の CDM について、主に米国からのデータ供給を受けている。EU SST コンソーシアムの全加盟国が、Unclassified データを交換する SSA データ共有協定を米国と締結している。さらにドイツ、フランス、英国は、Classified データを交換する協定も米国と締結している。またドイツ・フランス間では、Classified/Unclassified どちらのデータも交換する二国間協定を締結している。EU SST コンソーシアムでは、各国の国防省や国家安全保障機関が参加するセキュリティ委員会において、機密情報を保護する要件を作成中である。

(2) 国内天文観測施設

上述の既存の機関・企業が提供するデータ・サービスに加え、ここでは、日本国内の天文観測施設について調査・整理した結果を示す。具体的には国内天文観測施設の情報を収集するとともに傾向や特徴を分析し、デブリ観測において天文観測施設を活用できるかを検討した。

1) 国内天文観測施設の調査結果

『公開天文台白書 2006（日本公開天文台協会発行）』をもとに、本資料の発行以後に新

⁵ 竹内悠、岩井貴志 米国における STM 政策動向の調査結果について <http://space-law.keio.ac.jp/pdf/seminar/miniseminar01.pdf> 2021 年 3 月 18 日閲覧

設された施設を追加、廃止された施設を削除して付録にまとめた。なお国立天文台（NAOJ）、JAXA、NICT、大学等の研究向けの施設も含めている。以下、天文観測施設の主な設備である光学望遠鏡と電波望遠鏡について整理した。

a. 光学望遠鏡

光学望遠鏡は、国内計 297 か所で保有されている。一般に望遠鏡の口径が大きければ多くの光を集めることができ、暗い星の観測が可能となることから、デブリ観測にも有用である可能性がある。国内計 297 か所のうち、口径 100cm 以上のものは表 2-16 に示す通り 16 か所であった。

表 2-16 口径 100cm 以上の光学望遠鏡を有する施設

運営	設置数	施設名
自治体・民間	11 (うち 3 台は 休止中)	なよろ市立天文台きたすばる、銀河の森天文台、仙台市天文台、ぐんま天文台、佐治天文台、美星天文台、阿南市科学センター、星の文化館 ※「富山市天文台」「みさと天文台」「かわべ天文公園」は休止中
大学	3	東京大学木曾観測所、京都産業大学神山天文台、兵庫県立大学西はりま天文台
国立天文台	2 (うち 1 台 は休止中)	岡山天体物理観測所（2018 年度から研究者グループ等の自己負担による運用に移行） ※「石垣島天文台」は休止中

今回対象とした光学望遠鏡を口径サイズでグラフ化したものを図 2-17 に示す。口径 50cm 未満が 7 割を占め、100cm 以上は全体の約 5%であった。

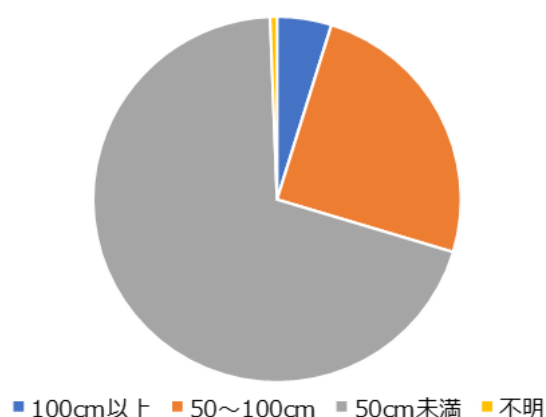


図 2-17 光学望遠鏡の口径別比率

次に、光学望遠鏡を鏡筒（天体を覗く部分）の種類でグラフ化したものを図 2-18 に示す。反射式がもっとも多く、全体の 6 割超を占めた。

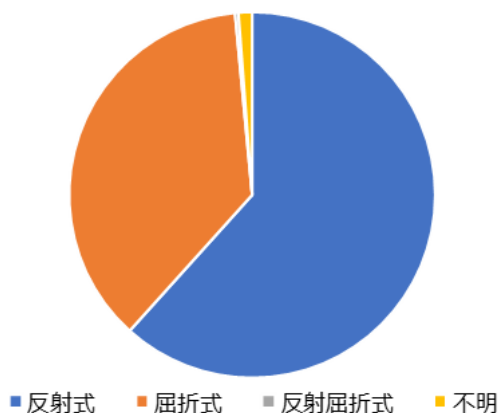


図 2-18 光学望遠鏡の鏡筒別比率

口径が 100cm 以上の光学望遠鏡は、いずれも反射鏡を利用して集光する反射式であった。一方、光を屈折させ集光する屈折式は、口径が小さい望遠鏡に多く用いられる特徴がある。

以下、口径 100cm の光学望遠鏡の例として、兵庫県立大学西はりま天文台の概要と外観を表 2-17 と図 2-19 に、銀河の森天文台の概要と外観を表 2-18 と図 2-20 に示す。

表 2-17 兵庫県立大学西はりま天文台の光学望遠鏡概要

設置年	2004 年
運営主体	兵庫県立大学
種類	光学望遠鏡（反射式）
口径	200cm
駆動速度	AZ 軸 最大 0.5 度/秒、EL 軸 最大 0.5 度/秒
視野	～φ4 分角（円形視野）
補足	口径 200cm のなゆた望遠鏡の他、口径 60cm の望遠鏡や太陽望遠鏡も設置されており、採択されれば共同研究で利用可能

出所) 西はりま天文台 TELESCOPE <http://www.nhao.jp/public/telescope/index.html> 2021 年 3 月 16 日閲覧



図 2-19 兵庫県立大学西はりま天文台の光学望遠鏡外観

出所) 西はりま天文台 TELESCOPE <http://www.nhao.jp/public/telescope/index.html> 2021 年 3 月 16 日閲覧

表 2-18 銀河の森天文台の光学望遠鏡概要

設置年	1998 年
運営主体	北海道陸別町
種類	光学望遠鏡（反射式）
口径	115cm
駆動速度	度 5° /秒、方位 20° /秒
追尾精度	1 秒角 rms/30 分
補足	望遠鏡が高速で動くため、上空を移動する人工衛星を追尾できる性能を持っている

出所) 銀河の森天文台 115cm 大型望遠鏡（観望室） <https://www.rikubetsu.jp/tenmon/shisetsu/setsubi/ogata/>
2021 年 3 月 16 日閲覧



図 2-20 銀河の森天文台の光学望遠鏡外観

出所) 銀河の森天文台 115cm 大型望遠鏡 (観望室) <https://www.rikubetsu.jp/tenmon/shisetsu/setsubi/ogata/>
2021 年 3 月 16 日閲覧

b. 電波望遠鏡

電波望遠鏡は、国内計 13 か所で保有されている。また、このうちデブリ観測に有用な可能性のある口径 20m 以上のものは表 2-19 の通り 9 か所であった。

表 2-19 口径 20m 以上の電波望遠鏡を有する施設

運営	設置数	施設名
国立天文台	8	VERA 4 局 (水沢局、入来局、小笠原局、石垣島局)、 野辺山宇宙電波観測所、山口局、茨城局 (高萩)、茨城局 (日立) ※茨城局は茨城大学、山口局は山口大学、VERA 入来局は鹿児島大学が運用・管理している
JAXA	1	臼田宇宙空間観測所

光学望遠鏡に比べ、電波望遠鏡は口径が大きく、数十メートル台のものが多い。これは、可視光に比べ、電波は微弱で波長が長く分解能が小さいためである。また電波望遠鏡を用いたデブリ観測を検討する場合、口径の大きさに加え、周波数帯の広さも重要となる。上述の 9 か所の電波望遠鏡について、口径と周波数帯を表 2-20 に示す。

表 2-20 電波望遠鏡（口径 20m 以上）の口径と周波数帯

施設名	口径	周波数帯
VERA（水沢局、入来局、小笠原局、石垣島局）	20m※4 局を組み合わせることにより実質 2,300km	2.2～44.5GHz
野辺山宇宙電波観測所	45m	1～150GHz
	10m ※6 台のアンテナを組み合わせることにより実質 600m	8～230GHz
山口局	32m	6～8GHz
茨城局（高萩）	32m	6.3～7.0、8.0～8.8GHz
茨城局（日立）	32m	6.3～7.0、8.0～8.8GHz
臼田宇宙空間観測所	64m	1.4～15GHz

複数の観測局の電波望遠鏡を連動させ、高分解能観測に取り組む VERA（VLBI Exploration of Radio Astrometry）プロジェクトでは、4 か所の観測局で同時に観測することにより、口径 2,300km の望遠鏡と同等の性能を実現している。また観測周波数帯がもっとも広いのは野辺山宇宙電波観測所であった。

以下、口径 20m 以上の電波望遠鏡の例として、野辺山宇宙電波観測所の 45m 電波望遠鏡と 10m ミリ波干渉計の外観を図 2-21 と図 2-22 に、また VERA プロジェクトの観測局の配置を図 2-23 に示す。



図 2-21 野辺山宇宙電波観測所の 45m 電波望遠鏡

出所) 野辺山宇宙電波観測所 電波望遠鏡の紹介 <https://www.nro.nao.ac.jp/public/teles.html> 2021 年 3 月 16 日閲覧



図 2-22 野辺山宇宙電波観測所の 10m 電波望遠鏡

出所) 野辺山宇宙電波観測所 電波望遠鏡の紹介 <https://www.nro.nao.ac.jp/public/teles.html> 2021 年 3 月 16 日閲覧

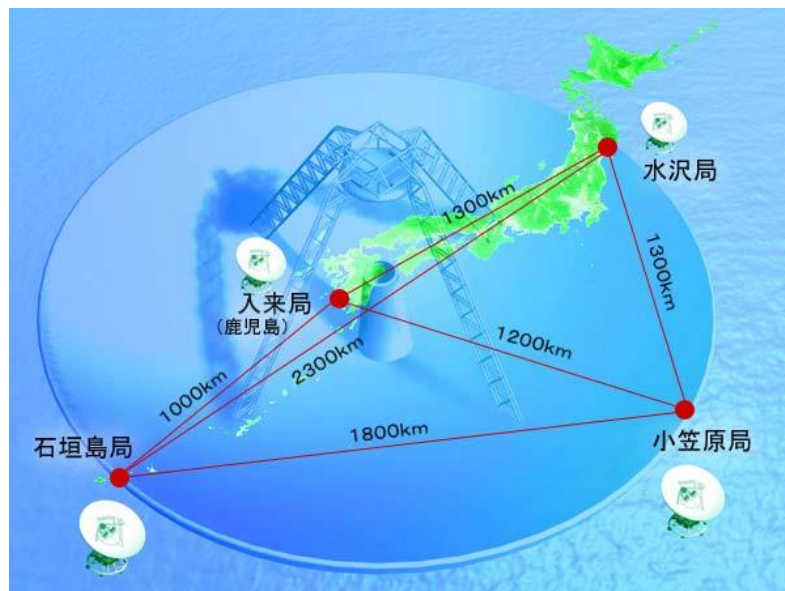


図 2-23 VERA プロジェクト観測局の配置

出所) VERA 観測システム <https://www.miz.nao.ac.jp/veraserver/system/index.html> 2021 年 3 月 16 日閲覧

2) 国内天文観測施設を活用した SSA 観測可能性の検討

天文観測施設をデブリ観測に活用することを想定した場合の検討事項を以下に整理する。ここでは、現状の天文観測施設の利用を前提とした課題を整理するが、電波天文望遠鏡についてはリハービッシュにより、SSA 観測に活用可能とすることを想定した場合の検討事項についても併せて整理する。なお、本資料は「どのようなセンサもインテグレートして SSA に寄与させ、軌道把握の正確性を向上させる」という民生 SSA プラットフォームのもつべき柔軟性を最大限活かすべく、該当する資産についてまとめたものであるが、今後の調整の

中で詳細化すべきと考える。

a. 光学望遠鏡の利用にあたっての課題

デブリ観測で重要な視野角と駆動速度

デブリ観測では、視野角の広さと衛星やデブリを観測・追尾するための駆動速度の速さが重要となる。例えば、美星天文台の光学望遠鏡の口径は 101cm と JAXA の美星スペースガードセンターに設置されている 1m 光学望遠鏡と同程度のサイズであるが、視野角は 1/20 程度であり、光学系の設計コンセプトが異なる点に注意が必要である。

LEO 観測での利用

LEO 観測への利用を想定した場合、LEO を通過する衛星やデブリは約 8km/秒の速さで移動するため、駆動速度の制御（速く正確に動かせる能力）が重要な技術要因となる。

また、観測機会の観点からも配置場所の検討が重要となる。LEO の観測が可能なのは、日没後と夜明け前の数時間であるが、天文観測施設では同時間帯に観望会等を行っていることも考えられ、スケジュールの調整が必要となる可能性がある。また光学でのデブリ観測は天候にも左右されることから、複数地点での観測手段を確保しておく必要がある。

GEO 観測での利用

GEO 観測への利用を想定した場合、視野角が限定されることを考慮すると、広域の観測ではなく待ち受け観測を行う形態となると想定される。この場合、駆動速度等の課題はなくなるが、他の観測施設と連携した精度の良い情報に基づく待ち受け観測エリアの決定、LEO と同じく観測機会の調整、などが検討課題となる。

b. 電波望遠鏡の利用にあたっての課題

Passive RF 観測

電波天文センサを Passive RF による SSA 観測に適用させ、稼働中衛星の軌道決定に利用することを想定する。Passive RF は対象衛星から受信する電波の時間変化、周波数変化などから対象との距離を割り出し軌道決定に適用するものである。対象が電波を発していないと利用できないため、運用中の衛星かつ、対象側の協力が必要であるが、短時間での軌道正確性の向上が見込めるため、SSA の省力化、効率化手段として注目を浴びている。One-way でのレンジングと原理は同じである。

SSA における Passive RF は、Kratos 社⁶、ComSpOC 社、L3Harris 社等の SSA サービスプロバイダーが観測手段として採用している実績がある。

Active RF 観測（レーダ観測）

電波天文センサの送信機、受信機、バックエンドを切り替えることで、静止軌道の Deep

⁶ <https://www.kratosdefense.com/products/space/signals/rf-management/rf-monitoring-services>（2021 年 3 月 24 日閲覧）

Space Radar に転用するもので、有名なものとして ComSpOC 社と Thoth 社によるカナダ Algonquin Radio Observatory (ARO) のリハービッシュが挙げられる⁷⁾。ARO は現在も静止軌道衛星の SSA 観測に利用されながらも、従来の天文観測 (VLBI によるパルサー観測) も継続している。

従来設備の再利用は、従来許可されている周波数を極力再利用することで運用認可を容易にするメリットもあり、また構築費は一般的に新規にシステム構築を行うより少ない費用となる。

国内資産の活用

日本国内には学術分野を中心に、電波を受信できる電波センサが多数あり、リハービッシュすることで遊休資産の活用にも寄与できる可能性がある。例として、京都大学の MU レーダ⁹⁾、野辺山宇宙電波観測所の 45m 電波望遠鏡¹⁰⁾、臼田宇宙空間観測所の 64m 望遠鏡¹¹⁾があり、他にも大学、研究機関が保有する電波センサが多数ある。

学術研究の傍らで SSA 観測を行う DUAL USE を実現できれば、ALL JAPAN 体制での SSA センサネットワークの構築に発展できる可能性があるとともに、リハービッシュ産業なる一定の事業創出も考えられる。

c. 共通課題

共通的な課題として、有人で運用されている設備に対して、効率化の観点から無人でも運用できるような改修が必要なこと、観測要求や観測結果のデータを送受信するためのインターフェースの追加が必要なこと、占有ではないが故にセンサ精度を保証するための校正頻度の増加や運用訓練費用が必要となること、施設の設置目的と異なる利用となるため別途の運用費が必要となること、など費用面の検討も併せて行う必要がある。

⁷⁾ <https://www.prweb.com/releases/2016/02/prweb13225386.htm> (2021 年 3 月 24 日閲覧)

⁸⁾ <http://thothx.com/aro/overview> (2021 年 3 月 24 日閲覧)

⁹⁾ <https://www.rish.kyoto-u.ac.jp/DCRP/MU.html> (2021 年 3 月 24 日閲覧)

¹⁰⁾ <https://www.nro.nao.ac.jp> (2021 年 3 月 24 日閲覧)

¹¹⁾ https://www.jaxa.jp/about/centers/udsc/index_j.html (2021 年 3 月 24 日閲覧)

2.2.2 サービスの実現に必要なデータの分析

ここでは、A パートで導出されたユーザニーズを満たすサービスを起点に、同サービスの実現にあたってどのようなデータ種類及び要件が必要となるかを検討した。具体的には、「B-2-1 サービスに必要なデータを分類」、「B-2-2 各サービスのデータ種類・要件を整理」の2ステップで検討を行った。

A パートでは、ニーズ調査結果から表 2-21 に示すサービスを導出している。B-2 では、これらのサービスをもとに検討を進めた。

表 2-21 ユーザニーズ調査から導出されたサービス

No.	サービス	サービス概要
①	打上時接近解析	打上げ計画に基づいて打上げ日時を解析するとともに、打上げ直後の適時性を伴った接近解析結果及びCDMを提供する
②	ローンチウインドウ解析	ローンチウインドウ情報の解析を行う
③	軌道情報提供	希望する物体の軌道情報（軌道暦、TLE 等）を提供する
④	衛星運用時接近解析	独自に接近解析するために、クライアント物体のタブリングレートを提供する
⑤	スクリーニング	- 高精度なオンデマンドスクリーニング結果を提供する - 日本の官民が運用／所有する衛星に関しては、スクリーニングの優先度を上げる
⑥	CDM 発行	日本が運用／保有する衛星に対して優先的に高精度で適時性を持った接近解析結果及び CDM を発行する
⑦	回避計画立案支援	- 運用計画の立案を支援する - 具体的にはΔVの計画を提案し、ユーザの利便性を高める
⑧	再突入解析	地球の大気圏に突入する物体の正確な再突入位置と時間を予測する
⑨	軌道離脱・廃棄運用支援	- 運用が終了した衛星を廃棄するため、軌道を離脱させるため、軌道離脱・廃棄運用計画の立案を代行する - またその間の衝突解析も実施する
⑩	宇宙天気情報提供	衛星運用時に支障が出た時、衛星異常事象発生後の故障解析を行う時または測位精度劣化時の電離層擾乱状況を確認する時に必要な宇宙天気情報を提供する
⑪	衛星モニタリングサービス	故障や経年劣化を把握するための各種外観情報を提供する
⑫	観測情報提供	要求に応じて衛星の状況を撮像した画像を提供する
⑬	他のデータベース情報の提供	入力データの充実とデータフュージョンを図り、利用者に提供する情報の精度を高める

出所) 三菱総合研究所作成

なお、A パートでは上記の他に⑭その他情報提供と⑮打上申請支援も導出しているが、これら 2 つのサービスはデータ要件を規定するものではないため、データ要件を検討する B パートでは除外した。

(1) サービスに必要なデータの分類

前掲の表 2-21 の各 SSA サービスをもとに、使用されるデータの種別を表 2-22 の通り分類した。

表 2-22 SSA サービスに必要なデータ種類

No.	データ種類	概要	備考
1	軌道情報	観測によって得られる衛星やデブリの軌道	
2	軌道予測	観測データから求めた将来の軌道、または打上げロケットの計画軌道	
3	接近解析情報	- 運用中の衛星が、どの物体といつ最接近するか予測 「軌道予測」データをもとに生成	
4	回避計画立案支援情報	- 回避軌道に遷移するために必要な Δv と時刻・位置（計画値） 「接近解析情報」データをもとに生成	
5	マヌーバ情報	マヌーバの時刻、場所	
6	再突入・廃棄支援情報	- LEO 衛星を制御落下するための Δv と時刻・位置の計画値と、再突入地域の推定または GEO 衛星の墓場軌道に移る時刻・位置の予測値 - 非アクティブ物体の自然落下日時の推定	
7	近接支援情報	軌道変更するための Δv と時刻・位置の計画値と、2 つの物体が接近する時刻・位置の予測値	
8	外観情報	衛星やデブリの姿勢等の情報	
9	宇宙環境情報	宇宙天気に関する各種パラメータ（実績値、予測値）	（対象外）
10	機器情報	衛星内部のパラメータ	（対象外）
11	故障予兆検知	宇宙天気と衛星の安定性に関する関係	（対象外）

出所）三菱総合研究所作成

なお、No. 9 宇宙環境情報に関しては、外部データベースの利用が前提となるため、以降のデータ要件検討の対象外とした。また No. 10 機器情報と No. 11 故障予兆検知はオプションサービス扱いであり、現時点で強いニーズは見込まれていないことから、No. 9 同様に対象外とした。

また、これら 8 種類（上述の 3 種類を除く）のデータ種類の関係を図 2-24 に示す。

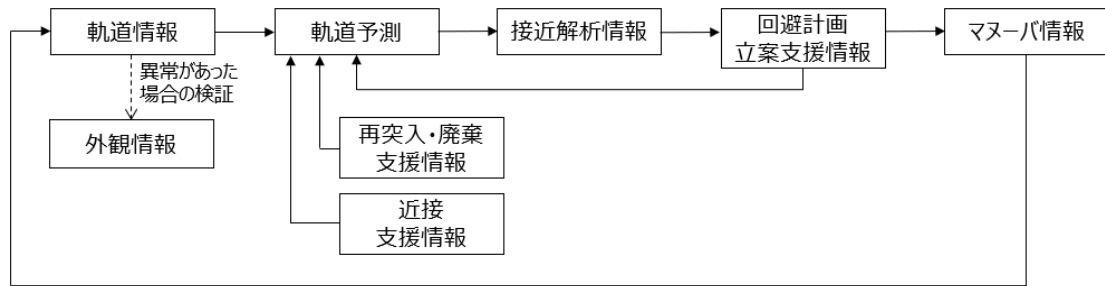


図 2-24 各データ種類の関係

出所) 三菱総合研究所作成

左上の「軌道情報」データを起点に、「軌道予測」データが生成され、それをもとに「接近解析情報」データが生成される。そこから「回避計画立案支援情報」データが生成され、軌道を変更したことが「マヌーバ情報」データとして「軌道情報」データとともに記録される。「近接支援情報」データや「再突入・廃棄支援情報」データに基づいて軌道変更する場合には、「軌道予測」データや「接近解析情報」データが生成されることで、他の物体との衝突可能性を検証する。また「軌道情報」データで異常が発見された場合には、「外観情報」データを取得する流れとなっている。

表 2-21 に示した SSA サービス一覧と、表 2-22 に示したデータ一覧の対応関係を表 2-23 に示す。

表 2-23 ユーザが求めるサービスとその実現に必要なデータの対応関係

データ種類	サービス												
	① 打上時接近解析	② ローンチウインドウ解析	③ 軌道情報提供	④ 衛星運用時接近解析	⑤ スクリーニング	⑥ CDM 発行	⑦ 回避計画立案支援	⑧ 再突入解析	⑨ 軌道離脱・廃棄運用支援	⑩ 宇宙天気情報提供	⑪ 衛星モニタリングサービス	⑫ 観測情報提供	⑭ 他のデータベース情報の提供
1. 軌道情報			○		○	○	○	○	○				○
2. 軌道予測	○	○	○	○	○	○	○	○	○				

3. 接近解析情報	○	○	○	○	○	○	○	○				
4. 回避計画立案支援情報	○	○				○	○					
5. マヌーバ情報			○			○						
6. 再突入・廃棄支援情報					○			○	○			
7. 近接支援情報			○									
8. 外観情報										○	○	
9. 宇宙環境情報										○	○	
10. 機器情報										○	○	
11. 故障予兆検知										○		

出所) 三菱総合研究所作成

(2) 各サービスに必要なデータ種類と要件の整理

続いて、前掲の表 2-23 の対応関係に基づき、各サービスに求められるデータ種類とその要件を詳細に整理した。その上で、データ種類毎に求められるデータ要件を集約した。

1) 各サービスに必要なデータ種類と要件

a. 「①打上時接近解析」サービス

打上時接近解析サービスでは、ロケットが他の物体と衝突するか予測する場合に、「軌道予測」データをもとに生成した「接近解析情報」データを使用する。打上時接近解析サービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-24 に示す。

表 2-24 「①打上時接近解析」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
- 軌道上の衛星、デブリ、有人物体 - 打上予定のロケット	(a)打上直前（前日等）の最新軌道情報で解析する	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・位置 - 時間精度：分秒 - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：打上前日
	(b)オンデマンドで打上時の接近解析を実施する	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	項目：最接近時刻・位置

			- 時間精度：分秒 - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：リアルタイム応答
	(c)打上計画（飛行安全計画）に耐えうる接近解析結果を提供する	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・位置 - 時間精度：分秒 - 位置精度：誤差 1km 以下
	(d)投入対象衛星の観測に加えて軌道変更計画も考慮した解析結果を提供する	接近解析情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 精度：誤差 1km 以下
		回避計画立案支援情報	- 項目：最接近時刻・位置 - 時間精度：分秒 - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：打上前日
		回避計画立案支援情報	- 項目：衛星のカatalog番号 - 項目：マヌーバの時刻・位置 - 頻度：1～5 回／日

出所）三菱総合研究所作成

b. 「②ローンチウインドウ解析」サービス

ローンチウインドウ解析サービスでは、打上げ可能な時間帯を決定する場合に、「軌道予測」を基に生成した「接近解析情報」データを使用する。ローンチウインドウ解析サービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-25 に示す。

表 2-25 「②ローンチウインドウ解析」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
- 軌道上の衛星、デブリ、有人物体 - 打上予定のロケット	(a)オンデマンド解析を実施する	接近解析情報	- 項目：打上可能な時間帯 - 項目：最接近時刻・位置 - 時間精度：分秒 - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：リアルタイム応答
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 精度：誤差 1km 以下
- 軌道上の衛星、デブリ（小さいデブリ含む）、有人物体 - 打上予定のロケット	(b)多数の物体に対するCOLA解析を実施し、ローンチウインドウ解析結果を提供する。より小さいデブリも解析対象とする	接近解析情報	- 項目：打上可能な時間帯 - 項目：最接近時刻・位置 - 時間精度：分秒 - 位置精度：誤差 1km 以下 - サイズ：10cm 以下も含む
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 精度：誤差 1km 以下

- 軌道上の衛星、デブリ、有人物体 - 打上予定のロケット	(c)Secondary 衛星 ΔV の計画に従い、 ΔV 後の打上げ COLA 解析を実施し、ローンチウインドウ解析結果を提供する	接近検知	- 項目：打上可能な時間帯 - 項目：最接近時刻・位置 - 時間精度：分秒 - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：打上前日
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 精度：誤差 1km 以下
		回避計画立案支援情報	- 項目：衛星のカタログ番号 - 項目：マヌーバの時刻・位置 - 頻度：1～5 回/日

出所) 三菱総合研究所作成

c. 「③軌道情報提供」サービス

軌道情報提供サービスでは、特定の衛星等の位置を提供する場合に「軌道情報」データを使用する。軌道情報提供サービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-26 に示す。

表 2-26 「③軌道情報提供」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
軌道上の衛星、デブリ	(a) オンデマンドで希望する物体の軌道情報を提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - タイミング：リアルタイム応答
	(b) オンデマンドで希望する物体（複数物体を含む）を頻度を上げて継続的に観測し、高精度な観測結果を提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1～5 回/日
	(c) 基本的な軌道情報（TLE、軌道暦）を提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1～5 回/日
RPO する衛星・有人物体	(d) RPO に必要な情報（より正確な軌道）を提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1～5 回/日
	(e) RPO に必要な情報（ランデブーを行うための軌道計画立案等）を提供する	近接支援情報	- 項目：RPO 予定時刻・場所 - 項目：マヌーバの時刻・位置 - 項目：ΔV - 位置精度：誤差 1km - 時間精度：分秒
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
軌道上のデブリ（ロケット上段等）	(f) ロケット上段等の近接する非アクティブな物体軌道情報を提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - タイミング：リアルタイム応答

軌道上のデブリ	(g)起源を同じとする物体（デブリ発生状況）に関する情報を提供する	軌道情報	- 項目：元の衛星カタログ番号 - 項目：位置、速度ベクトル - 頻度：1～5 回／日
軌道上の衛星	(h)独自解析を行うために（Classified 衛星を示唆する）UNKNOWN 情報を提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 項目：更新時刻 - 頻度：1～5 回／日
軌道上の衛星、デブリ	(i)より正確な独自解析を行うために、位置の共分散値（X,Y,Z）情報を提供する	軌道情報	- 項目：共分散値 - 頻度：1～5 回／日
	(j)希望する物体のマヌーバ情報等、軌道の時間変化情報を迅速に軌道情報に反映し、提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 項目：更新時刻 - 頻度：1～5 回／日
		マヌーバ情報	- 項目：マヌーバの時刻・位置 - 頻度：1～5 回／日
	(k)対象物体の高精度軌道情報を提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
	(l)軌道情報の精度は CSpOC が提供するデータと同等以上である		
軌道上にある特定の衛星	(m)特定の衛星（自衛星・対象衛星）に特化した情報を提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 頻度：1～5 回／日
マヌーバ後の衛星	(n)過去の軌道制御履歴の検索機能を有する	マヌーバ情報	- 項目：マヌーバの時刻・位置 - 頻度：1-5 回／日 更新
	(o)故障解析等の為に過去に遡ったデータへのアクセスサービスを提供する		
軌道上の衛星	(p)（今後増えて来ると思われる）電気推進を前提とした軌道推定結果（軌道暦）を提供する	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		マヌーバ情報	- 項目：マヌーバの時刻・位置 - 頻度：1-5 回／日 更新

出所）三菱総合研究所作成

d. 「④衛星運用時接近解析」サービス

衛星運用時接近解析サービスでは、独自の接近解析をする場合に高精度な「接近解析情報」データを提供する。衛星運用時接近解析サービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-27 に示す。

表 2-27 「④衛星運用時接近解析」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
軌道上の衛星とデブリのうち、指定した物体	(a) オンデマンドで希望する物体（複数物体を含む）の高精度な接近解析結果を提供する	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：リアルタイム応答
	(b) オンデマンドで指定した物体を継続的に頻度を上げて観測する（例：日本が運用／所有する衛星に関して高精度で適時性を持った接近解析結果、CDMを提供する）	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 項目：タブリングレート - 位置精度：1σ 100m 級 - 頻度：1-5 回/日
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 精度：誤差 1km 以下 - タイミング：4-5 日前
軌道上の衛星とデブリのうち、カタログ未反映の物体	(c) カタログ未反映の物体に関して、接近解析を実施し、接近解析結果及び CDM を提供する	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 精度：誤差 1km 以下

出所) 三菱総合研究所作成

e. 「⑤スクリーニング」サービス

スクリーニングサービスでは、高精度なスクリーニングをする場合に誤差が少ない「軌道予測」データを使用する。スクリーニングサービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-28 に示す。

表 2-28 「⑤スクリーニング」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
軌道上の衛星、デブリ	(a) 観測可能なデブリが増えることによる誤アラートを減らすことが可能な精度の情報を提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1～5 回／日
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1～5 回／日 更新 - サイズ：10cm 以下も含む
	(b) オンデマンドスクリーニングにより高頻度な情報更新を行う	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：リアルタイム応答
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：リアルタイム応答
	(c) 共分散を含む、あるいは含まない軌道予測暦を入	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下

	力としたスクリーニングを実施する	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 位置精度：1σ 100m 級
軌道上の衛星、デブリ（コロケーション衛星を考慮）	(d)コロケーション衛星を考慮し、不要な CDM のスクリーニングを行う	軌道情報	- 項目：衛星カタログ番号 - 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1～5 回／日
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1～5 回／日
		接近解析情報	- 項目：重複 CDM 削除 - 頻度：1～5 回／日
軌道上の衛星、デブリ（再突入物体を考慮）	(e)再突入物体を含めたオンデマンドスクリーニング結果を提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1～5 回／日
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：リアルタイム応答
		再突入・廃棄支援情報	- 項目：Δv - 項目：軌道変更時刻・位置 - 項目：突入地点 - 精度：突入位置（誤差 1km） - 精度：突入時刻（分秒）

出所）三菱総合研究所作成

f. 「⑥CDM 発行」サービス

CDM 発行サービスでは、CDM を発行する場合に「軌道予測」データや「回避計画立案支援情報」データを基に生成した「接近解析情報」データを使用する。CDM 発行サービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-29 に示す。

表 2-29 「⑥CDM 発行」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
軌道上の衛星、デブリ	(a)最接近日から余裕を持って CDM を発行する（4～5 日前）	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：4-5 日前
	(b)自衛星のマヌーバも考慮して CDM の発行を抑制する	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1-5 回／日
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下

		回避計画立案支援情報	- 項目：マヌーバの時刻・位置 - 項目：ΔV - タイミング：4-5 日前
軌道上の衛星、 デブリ	(c)デブリの高精度な 共分散値を用いて、高 精度な CDM を発行す る	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 位置精度：1σ 100m 級
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下
軌道上の衛星 (LEO～GEO)	(d)低軌道～静止軌道 の衛星向けの CDM を 発行する	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下
軌道上の衛星、 デブリ	(e)最接近距離および 日時（分秒単位で）を 通知する CDM を発行 する	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下 - 時間精度：分秒
	(f)日本の衛星に対する CDM の精度、頻度がコ ントロール可能にな り、無駄なマヌーバの 減少につながる情報を 提供する	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下
軌道上の衛星、 デブリ	(g)頻度高く CDM を発 行する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1-5 回／日
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1-5 回／日
	(h) オンデマンドで CDM を発行できる	軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：リアルタイム応答
軌道上の衛星、 デブリ	(i) 軌道制御情報や (Classified 衛星を示 唆する) UNKNOWN 情 報を含めた CDM を発 行する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：Classified 衛星を示唆する UNKNOWN 情報 - 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下
		マヌーバ情報	- 項目：マヌーバの時刻・位置 - 頻度：1～5 回／日
	(j)コロケーションを考 慮して接近解析結果、 CDM を提供する	軌道予測	- 項目：カタログ番号 - 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下

		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下
軌道上の衛星、デブリのうち、カタログ未反映の物体	(k) カタログ未反映の物体に関して、接近解析を実施し接近解析結果、CDM を提供する	軌道予測	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下
軌道上の衛星、デブリ	(l) ΔV 後の衝突解析までを実施し参考情報として提供する	回避計画立案支援情報	- 項目：マヌーバの時刻・位置 - 項目：ΔV - タイミング：4～5 日前
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 頻度：1～5 回／日 - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下

出所) 三菱総合研究所作成

g. 「⑦回避計画立案支援機能」サービス

回避計画立案支援機能サービスでは、回避計画立案に必要な情報を提供する場合に、「回避計画立案支援情報」データを考慮し「軌道予測」データや「接近解析情報」データを使用する。回避計画立案支援機能サービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-30 に示す。

表 2-30 「⑦回避計画立案支援機能」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
軌道上の衛星	(a) 加速・減速いずれの回避行動が妥当かを評価し、評価結果を提供する	回避計画立案支援情報	- 項目：マヌーバの時刻・位置 - 項目：ΔV - タイミング：4～5 日前
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：リアルタイム応答
軌道上の衛星、デブリ	(b) デブリとの衝突回避も対象とした ΔV 計画（マヌーバ計画）を提案する	回避計画立案支援情報	- 項目：マヌーバの時刻・位置 - 項目：ΔV - タイミング：4～5 日前
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下
軌道上の衛星、デブリ	(c) ΔV 中、 ΔV 後の衝突解析、元の軌道に戻すまでの軌道計画を参考情報として提供する	回避計画立案支援情報	- 項目：マヌーバの時刻・位置 - 項目：ΔV - 頻度：1～5 回／日
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下

軌道上の衛星	(d)回避操作実施の自動判断に寄与する情報を提供する	接近解析情報	- 頻度：1～5 回／日 - 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1～5 回／日
		軌道情報	- 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1～5 回／日
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下

出所) 三菱総合研究所作成

h. 「⑧再突入解析」サービス

再突入解析サービスでは、再突入する位置と時間を提供する場合に「再突入・廃棄支援情報」を基に生成した「軌道予測」データを使用する。再突入解析サービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-31 に示す。

表 2-31 「⑧再突入解析」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
再突入する衛星	(a)再突入情報（突入地点、時間帯等）を提供する	再突入・廃棄支援情報	- 項目：ΔV - 項目：軌道変更時刻・位置 - 項目：突入地点 - 位置精度：誤差 1km 以下 - 時間精度：分秒
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
再突入する衛星、軌道上の衛星、デブリ	(b)再突入物体も対象とした高精度で適時性を持ったオンデマンドスクリーニング結果を提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1～5 回／日
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：リアルタイム応答
再突入する衛星、軌道上の衛星、デブリ、打上予定のロケット	(c)再突入物体も対象とした高精度で適時性を持った接近解析結果及び CDM を提供する	軌道情報	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下 - 頻度：1～5 回／日
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下 - タイミング：4～5 日前

出所) 三菱総合研究所作成

i. 「⑨軌道離脱・廃棄運用支援」サービス

軌道離脱・廃棄運用支援サービスでは、軌道離脱後の衝突を回避する場合に、「再突入・廃棄支援情報」データを基に生成した「軌道予測」データや「接近解析情報」データを使用する。再突入解析サービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-32 に示す。

表 2-32 「⑨軌道離脱・廃棄運用支援」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
離脱・廃棄する衛星、軌道上の衛星とデブリ、打上予定のロケット	(a)高精度で適時性を持った接近解析結果及び CDM を提供する	再突入・廃棄支援情報	- 項目：ΔV - 項目：軌道変更時刻・位置 - 位置精度：誤差 1km 以下
		接近解析情報	- 項目：最接近時刻・場所 - 位置精度：誤差 1km 以下
離脱・廃棄する衛星	(b)廃棄用軌道計算、マヌーバ計画（ ΔV 計画）立案を行う	再突入・廃棄支援情報	- 項目：ΔV - 項目：軌道変更時刻・位置 - 位置精度：誤差 1km 以下
		軌道予測	- 項目：位置、速度ベクトル - 位置精度：誤差 1km 以下
墓場軌道上のデブリ（元衛星）	(c)墓場軌道遷移後の光学観測を行う	軌道情報	- 項目：廃棄前のカタログ番号 - 項目：速度ベクトル、位置 - 位置精度：誤差数 km - 頻度：1～5 回／日

出所) 三菱総合研究所作成

j. 「⑩宇宙天気情報提供」サービス

宇宙天気情報提供サービスでは、「宇宙環境情報」データ、「機器情報」データ、「故障の予兆検知」データを使用する。宇宙天気情報提供サービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-33 に示す。

表 2-33 「⑩宇宙天気情報提供」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
軌道上の衛星	(a)衛星表面・内部に電子・プロトンがどの程度のエネルギー分布を持ち、どの程度のフラックス量かに関する情報を提供する	機器情報	—
	(b)衛星の情報を提供することにより、衛星の内部・外部の最大帯電電位を提供する	機器情報	—
宇宙空間	(c)現在より予報精度の高い宇宙天気予報を提供する	機器情報	—

	(d)NICT の情報を内包し、NICT 専門知識をエンジン化し、それをベースとして、JAXA、衛星運用者の業務に必要な物理量へ変換し提供する	宇宙環境情報	—
軌道上の衛星	(e)最大帯電電位予想等の宇宙天気から影響を受ける衛星の状態について予測値について算出し提供する	故障予兆検知	—
軌道上の衛星、宇宙空間	(f)過去に遡ったデータへのアクセスサービスを提供する	宇宙環境情報、機器情報	—
宇宙空間	(g)宇宙天気の過去の累積値や統計的手法を用いたトレンド解析を行う	機器情報	—
	(h)公開 Web にて宇宙天気を通知する	環境情報	—

出所) 三菱総合研究所作成

※2.2.2(1)で述べた通り、「宇宙環境情報」データ、「機器情報」データ、「故障の予兆検知」データはデータ要件検討の対象外

k. 「⑪衛星モニタリング」サービス

衛星モニタリングサービスでは、故障や経年劣化を把握する場合に「外観情報」データを使用する。宇宙天気情報提供サービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-34 に示す。

表 2-34 「⑪衛星モニタリング」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
軌道上の衛星	(a)故障や経年劣化を把握するための外観情報（光学望遠鏡、電波センサ等）を提供する	外観情報	• 画質精度：高分解能
		機器情報	—
	(b)上記の情報を継続的にモニタリングする	機器情報	—
宇宙空間	(c)衛星異常事象発生後の故障解析情報の根拠として宇宙天気情報（放射線、陽子線フラックス等）を提供する	宇宙環境情報	—
	(d)指定した日時の、他の衛星の運用状況、故障情報を提供する	機器情報	—
	(e)指定した衛星の軌道位置近傍の電波干渉情報を提供するとともに、電波干渉原因調査を支援する	宇宙環境情報	—

出所) 三菱総合研究所作成

※2.2.2(1)で述べた通り、「宇宙環境情報」データ、「機器情報」データはデータ要件検討の対象外

I. 「⑫観測情報提供」サービス

観測情報提供サービスでは、顧客の要求に応じて高精細画像を提供する場合に「外観情報」データを使用する。観測情報提供サービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-35 に示す。

表 2-35 「⑫観測情報提供」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
軌道上の衛星	(a)要求に応じて高精度画像を取得する	外観情報	- タイミング：リアルタイム - 画質精度：高分解能
	(b)独自センサ等による宇宙物体観測によって得られた高精度な観測データを取得し、取り込む		
	(c)レーザ観測結果（画像）を提供する	外観情報	画質精度：高分解能
	(d)レーダ観測結果（画像）を提供する		
ロケット	(e)ロケット第2段による観測データの取得	外観情報	画質精度：高分解能

出所) 三菱総合研究所作成

m. 「⑬他のデータベース情報の提供」サービス

他のデータベース情報の提供サービスでは、他システムから「軌道情報」データを取り込む。他のデータベース情報の提供サービスの対象、サービス内容、データ種類、データ要件を表 2-36 に示す。

表 2-36 「⑬他のデータベース情報の提供」サービスに必要なデータ種類と要件

対象	サービス内容	データ種類	データ要件
軌道上の衛星、デブリ	(a)宇宙配備・宇宙監視衛星からの情報を取得し、取り込む	軌道情報	頻度：1～5 回／日
	(b)米国等のデータベースを取り込む		
軌道上の衛星	(c)OADR／関係機関の情報を取り込む		

出所) 三菱総合研究所作成

2) 各データ種類に求められるデータ要件

13 種類のサービスのうち 9 種類において「軌道予測」データと「接近解析情報」データが必要であった。これら 2 種類のデータは「軌道情報」データを基に生成されることから、「軌道情報」データがサービス提供のキーと考えられる。

以下、ユーザニーズを満たすサービスを実現するために、データ種類毎に求められるデータ要件を集約した。

a. 「1. 軌道情報」データ

軌道情報データに求められるデータ要件を表 2-37 に示す。

表 2-37 「1. 軌道情報」データのデータ要件

データ要件	左記のデータ要件を求めるサービス
頻度：1～5 回／日	③軌道情報提供、⑤スクリーニング、⑥CDM 発行、⑦回避計画立案支援機能、⑧再突入解析、⑬他のデータベース情報の提供
位置精度：誤差 1km 以下	③軌道情報提供、⑤スクリーニング、⑥CDM 発行、⑦回避計画立案支援機能、⑧再突入解析
位置精度：誤差数 km	⑨軌道離脱・廃棄運用支援 ※墓場軌道遷移後の光学観測
タイミング：リアルタイム応答	③軌道情報提供、⑤スクリーニング
サイズ：10cm 以下	③軌道情報提供

出所) 三菱総合研究所作成

b. 「2. 軌道予測」データ

軌道予測データに求められるデータ要件を表 2-38 に示す。

表 2-38 「2. 軌道予測」データのデータ要件

データ要件	左記のデータ要件を求めるサービス
頻度：1～5 回／日	①打上時接近解析、②ローンチウインドウ解析、③軌道情報提供、④衛星運用時接近解析、⑤スクリーニング、⑥CDM 発行、⑦回避計画立案支援機能、⑧再突入解析、⑨軌道離脱・廃棄運用支援
位置精度：誤差 1km 以下	①打上時接近解析、②ローンチウインドウ解析、③軌道情報提供、④衛星運用時接近解析、⑤スクリーニング、⑥CDM 発行、⑦回避計画立案支援機能、⑧再突入解析、⑨軌道離脱・廃棄運用支援
位置精度：誤差 1σ 100m 級	④衛星運用時接近解析 ※タンブリングレートまで考慮した高精度観測を行う場合
タイミング：リアルタイム応答	⑤スクリーニング
サイズ：10cm 以下	②ローンチウインドウ解析、③軌道情報提供

出所) 三菱総合研究所作成

c. 「3. 接近解析情報」データ

接近解析情報データに求められるデータ要件を表 2-39 に示す。

表 2-39 「3. 接近解析情報」データのデータ要件

データ要件	左記のデータ要件を求めるサービス
頻度：1～5 回／日	①打上時接近解析、②ローンチウインドウ解析、③軌道情報提供、④衛星運用時接近解析、⑤スクリーニング、⑥CDM 発行、⑦回避計画立案支援機能、⑧再突入解析、⑨軌道離脱・廃棄運用支援
位置精度：誤差 1km 以下	①打上時接近解析、②ローンチウインドウ解析、③軌道情報提供、④衛星運用時接近解析、⑤スクリーニング、⑥CDM 発行、⑦回避計画立案支援機能、⑧再突入解析、⑨軌道離脱・廃棄運用支援
位置精度：誤差 1σ100m 級	④衛星運用時接近解析、⑥CDM 発行
時間精度：分秒	②ローンチウインドウ解析
タイミング：リアルタイム応答	①打上時接近解析、②ローンチウインドウ解析、⑤スクリーニング
タイミング：4～5 日前	⑥CDM 発行 ※CDM の発行にあたってマヌーバの時間を考慮するため
タイミング：打上前日	①打上時接近解析、②ローンチウインドウ解析 ※打上げ直前の軌道情報を基に衝突の可能性を解析するため
サイズ：10cm 以下	②ローンチウインドウ解析、③軌道情報提供

出所) 三菱総合研究所作成

d. 「4. 回避計画立案支援情報」データ

回避計画立案支援情報データに求められるデータ要件を表 2-40 に示す。

表 2-40 「4. 回避計画立案支援情報」データのデータ要件

データ要件	左記のデータ要件を求めるサービス
頻度：1～5 回／日	①打上時接近解析、②ローンチウインドウ解析、③軌道情報提供、⑥CDM 発行、⑦回避計画立案支援機能
タイミング：4～5 日前	③軌道情報提供、⑥CDM 発行、⑦回避計画立案支援機能 ※マヌーバ後に衝突の可能性がないか解析するため

出所) 三菱総合研究所作成

e. 「5. マヌーバ情報」データ

マヌーバ情報データに求められるデータ要件を表 2-41 に示す。

表 2-41 「5. マヌーバ情報」データのデータ要件

データ要件	左記のデータ要件を求めるサービス
頻度：1～5 回／日	③軌道情報提供、⑥CDM 発行

出所) 三菱総合研究所作成

f. 「6. 再突入・廃棄支援情報」データ

再突入・廃棄支援情報データのデータ要件を表 2-42 に示す。

表 2-42 「6. 再突入・廃棄支援情報」データのデータ要件

データ要件	左記のデータ要件を求めるサービス
位置精度：誤差 1km 以下	⑤スクリーニング、⑧再突入解析、⑨軌道離脱・廃棄運用支援
時間精度：分秒	⑤スクリーニング、⑧再突入解析、⑨軌道離脱・廃棄運用支援 ※再突入時の他の物体との衝突可能性を解析するにあたり高精度が求められるため

出所) 三菱総合研究所作成

g. 「7. 近接支援情報」データ

近接支援情報データのデータ要件を表 2-43 に示す。

表 2-43 「7. 近接支援情報」データのデータ要件

データ要件	左記のデータ要件を求めるサービス
位置精度：誤差 1km 以下	③軌道情報提供
時間精度：分秒	③軌道情報提供 ※2 つの物体が接近するまでの間に他の物体と衝突する可能性を解析することから、高精度が求められるため

出所) 三菱総合研究所作成

h. 「8. 外観情報」データ

外観情報データのデータ要件を表 2-44 に示す。

表 2-44 「8. 外観情報」データのデータ要件

データ要件	左記のデータ要件を求めるサービス
画質精度：高分解能	⑪衛星モニタリングサービス、⑫観測情報提供
タイミング：リアルタイム応答	⑪衛星モニタリングサービス

出所) 三菱総合研究所作成

2.2.3 求められるサービスの充足度（ギャップ）の分析

ここでは、B-1 で整理した入手可能なデータと、B-2 で整理したユーザニーズを満たすためのデータ要件を比較し、そのギャップを分析した。ギャップの分析にあたっては、世界的に最も基盤的に利用されている CSpOC を比較対象とした。以下「B-3-1. 既存システムが提供するデータ整理」、「B-3-2. B-3-1 と B-2-2 の結果を比較・分析」の 2 ステップで検討を行った。

(1) 既存システムが提供するデータの整理

上述のように B-3 で行うギャップ分析では、比較対象として、SSA サービスの世界的な基盤としての役割を担っている CSpOC を取り上げた。以下、SSA サービスにおける CSpOC 提供サービスの位置付けと CSpOC の具体的なサービスについて詳細に示す。

1) CSpOC の提供サービスの位置付け

連合宇宙運用センター（Combined Space Operation Center: CSpOC）は、米戦略軍（United States Strategic Command: USSTRATCOM）が管轄する組織であり、米国と同盟国の軍事・商業衛星を防衛する任務を担っている。CSpOC は各国の衛星やデブリ等 2 万 3000 個の対象物を 24 時間体制で監視しており、ウェブサイト Space-Track.org 等を通じ、SSA データを他国政府や民間企業に無償で提供している。CSpOC は SSA データ共有協定（SSA Sharing Agreement）に基づき多くの政府・企業と SSA データを共有しており、世界的な SSA データ基盤となっている。

SSA データ共有協定は、自国の SSA データを提供する代わりに米軍の CSpOC からデータを入手できる仕組みであり、SSA データを共有することで相互にデータ精度を向上させることができるというメリットがある。2019 年 4 月時点では、日本を含む 20 か国、2 つの国際組織、78 社の企業が同協定を締結している。¹²

CSpOC は、基本サービス（Basic）、緊急サービス（Emergency）、高度なサービス（Advanced）の 3 種類からなるサービスを提供している（各サービスの詳細は後述）。Basic サービスはユーザ登録を行えば誰でも利用可能（登録数は 8 万超）、Emergency サービスは特定のニーズを持つ顧客にデータを提供、Advanced サービスは上述の SSA データ共有協定締結者のみデータを提供する仕組みとなっている。

現在、多くのユーザは Basic データ（軌道情報のみ）を利用している。ただし、NASA は、Basic サービスで提供されている TLE 情報は接近解析用データとして十分ではないとも述べている¹³。

¹² 米戦略軍 100th space sharing agreement signed, Romania Space Agency joins <https://www.stratcom.mil/Media/News/News-Article-View/Article/1825882/100th-space-sharing-agreement-signed-romania-space-agency-joins/>（2021 年 3 月 17 日閲覧）

¹³ NASA Spacecraft Conjunction Assessment and Collision Avoidance Best Practice Handbook https://nods3.gsfc.nasa.gov/OCE_docs/OCE_50.pdf（2021 年 3 月 17 日閲覧）

2) CSpOC のサービス

上述の CSpOC が提供する 3 種類のサービス (Basic、Emergency、Advanced) の詳細を表 2-45 に示す。

表 2-45 CSpOC のサービス

サービス	項目	データ内容	
Basic	基本的な SSA 情報	プロダクト	- 衛星カタログ (SATCAT) 情報 - TLE - 衛星の崩壊と再突入の予測
		顧客への依頼事項	有効なアカウント
	基本的な SSA 情報の再配布	プロダクト	1 回限りまたは 1 年ごとにデータを再配布する許可
		顧客への依頼事項	- 有効なアカウント - 軌道データ要望書
Emergency	異常の解決	プロダクト	- 特殊摂動 (SP) 状態ベクトル - Unclassified な物体の画像分析
		顧客への依頼事項	18SPCS への迅速な連絡 (軌道データ要望書と衛星ステータスの詳細を添付)
	基本的な緊急接近評価	プロダクト	- 接近通知メール - CDM
		顧客への依頼事項	18SPCS への連絡 (連絡先情報、ユーザネーム、カタログ番号と名称)
	基本的な緊急衝突回避	プロダクト	- 接近通知メール - CDM
		顧客への依頼事項	- 予測軌道暦 - マヌーバの通知 (計画、確認、キャンセル)
Advanced	打上時接近評価	プロダクト	打上時接近評価のスクリーニング結果 (打上げ時間、接近する物体のカタログ番号と一般名、打上げから接近までの時間 (秒)、接近距離 (km))
		顧客への依頼事項	- 軌道データ要望書 - フォーム 22 (打上時衝突回避要望書) - 打上げ軌跡データ
	打上後の初期軌道決定	プロダクト	- TLE - 衛星命名
		顧客への依頼事項	- 軌道データ要望書 - 打上げシーケンスと軌道パラメータ - R-15 フォーム (ロケット情報メッセージ。打上げ 30 日前が好ましい) - 衛星登録
	初期軌道の接近検知	プロダクト	- 接近通知メール - CDM
		顧客への依頼事項	- 軌道データ要望書 - 初期軌道マヌーバ計画 - 予測軌道暦 - R-15 フォーム (オプション)
	高度な接近検知 (軌道上)	プロダクト	- 接近通知メール - CDM
		顧客への依頼事項	- 軌道データ要望書 - 予測軌道暦 - ユーザネーム

	高度な衝突回避（軌道上）	プロダクト	- 接近通知メール - CDM
		顧客への依頼事項	- 軌道データ要望書 - マヌーバ計画 - 軌道暦の予測
	廃棄／保守終了支援	プロダクト	- 接近通知メール - CDM
		顧客への依頼事項	- 軌道データ要望書 - マヌーバ計画 - 予測軌道暦
	軌道離脱・再突入支援	プロダクト	- 接近通知メール - CDM - 状態ベクトル（軌道離脱／再突入が制御されている場合は1回／日、制御されていない場合は1回／8時間） - 追跡と衝突の予測（TIP）
		顧客への依頼事項	- 軌道データ要望書 - マヌーバ計画 - 予測軌道暦

出所) CSpOC SSA Sharing & Orbital Data Requests (ODR) <https://www.space-track.org/documentation#/odr>
2021年3月17日閲覧

(2) 求められるサービスのデータ要件と既存システムが提供するデータ間のギャップ分析

続いて、B-2 で整理したユーザニーズを満たすためのデータ種類毎のデータ要件と、既存システムである CSpOC が提供するデータを比較し、差分要因を検討した。

1) データ種類毎のデータ要件と CSpOC データのギャップ

a. 「1. 軌道情報」データ

軌道情報データのデータ要件と CSpOC データとの比較、その差分要因を表 2-46 に示す。

表 2-46 「1. 軌道情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ

データ要件		CSpOC データ	データ要件と CSpOC データとの差分			差分要因
			Basic	Emergency	Advanced	
項目	共分散値	なし	—	—	—	CSpOC による提供なし
サイズ	10cm 以下も含む	10cm 超	△	—	△	観測装置の性能
頻度	1-5 回／日	更新不定期	△	—	△	CSpOC の更新が不定期
位置精度	誤差 1km 以下	誤差数 km	△	—	△	観測装置の性能
	誤差数 km	誤差数 km	○	—	○	(ギャップなし)
タイミング	リアルタイム応答	更新不定期	△	—	△	CSpOC の更新が不

						定期
--	--	--	--	--	--	----

○：充足、△：差分あり、—：データ提供なし

出所) 三菱総合研究所作成

b. 「2. 軌道予測」データ

軌道予測データのデータ要件と CSpOC データとの比較、その差分要因を表 2-47 に示す。

表 2-47 「2. 軌道予測」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ

データ要件		CSpOC データ	データ要件と CSpOC データとの差分			差分要因
			Basic	Emergency	Advanced	
サイズ	10cm 以下も含む	10cm 超	—	△	△	「軌道情報」データをもとに生成されるため、同じ差分が生じる
頻度	1-5 回／日	更新不定期	—	△	△	「軌道情報」データをもとに生成されるため、同じ差分が生じる
位置精度	誤差 1km 以下	誤差数 km	—	△	△	「軌道情報」データをもとに生成されるため、同じ差分が生じる - マヌーバ後の情報が CSpOC に反映されるまで時間がかかる
	1σ 100m 級	誤差数 km	—	△	△	観測装置の性能(衛星のタブリングが考慮されない)
タイミング	リアルタイム応答	更新不定期	—	△	△	「軌道情報」データをもとに生成されるため、同じ差分が生じる - マヌーバ後の情報が CSpOC に反映されるまで時間がかかる

○：充足、△：差分あり、—：データ提供なし

出所) 三菱総合研究所作成

c. 「3. 接近解析情報」データ

接近解析情報データのデータ要件と CSpOC データとの比較、その差分要因を表 2-48 に示す。

表 2-48 「3. 接近解析情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ

データ要件		CSpOC データ	データ要件と CSpOC データとの差分			差分要因
			Basic	Emergency	Advanced	
サイズ	10cm 以下も含む	10cm 超	—	△	△	「軌道予測」データをもとに生成されるため、同じ差分が生じる
頻度	1-5 回／日	更新不定期	—	△	△	「軌道予測」データをもとに生成されるため、同じ差分が生じる
位置精度	誤差 1km 以下	誤差数 km	—	△	△	「軌道予測」データをもとに生成されるため、同じ差分が生じる - マヌーバ後の情報が CSpOC に反映されるまで時間がかかる
	1 σ 100m 級	誤差数 km	—	△	△	「軌道予測」データをもとに生成されるため、同じ差分が生じる
時間精度	分秒	更新不定期	—	△	△	「軌道予測」データをもとに生成されるため、同じ差分が生じる - マヌーバ後の情報が CSpOC に反映されるまで時間がかかる
タイミング	リアルタイム応答	更新不定期	—	△	△	「軌道予測」データをもとに生成されるため、同じ差分が生じる - マヌーバ後の情報が CSpOC に反映されるまで時間がかかる
	打上前日	更新不定期	—	△	△	「軌道予測」データをもとに生成

						されるため、同じ 差分が生じる マヌーバ後の情報 が CSpOC に反映 されるまで時間 がかかる
	4-5 日前に通知	遅いときは前日	—	△	△	「軌道予測」デー タをもとに生成 されるため、同じ 差分が生じる - マヌーバ後の情 報が CSpOC に反 映されるまで時 間がかかる

○：充足、△：差分あり、—：データ提供なし

出所）三菱総合研究所作成

d. 「4. 回避計画立案支援情報」データ

回避計画立案支援情報データのデータ要件と CSpOC データとの比較、その差分要因を表 2-49 に示す。

表 2-49 「4. 回避計画立案支援情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ

データ要件		CSpOC データ	データ要件と CSpOC データとの 差分			差分要因
			Basic	Emergency	Advanced	
項目	ΔV	ΔV	—	○	○	(ギャップなし)
頻度	1-5 回／日	非公開	—	△	△	CSpOC の更新が不定期
タイミング	4-5 日前	更新不定期	—	△	△	CSpOC の更新が不定期

○：充足、△：差分あり、—：データ提供なし

出所）三菱総合研究所作成

e. 「5. マヌーバ情報」データ

マヌーバ情報データのデータ要件と CSpOC データとの比較、その差分要因を表 2-50 に示す。

表 2-50 「5. マヌーバ情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ

データ要件		CSpOC データ	データ要件と CSpOC データとの 差分			差分要因
			Basic	Emergency	Advanced	
項目	マヌーバ時刻・位置	なし	—	—	—	CSpOC による提供

						なし
公開頻度	1-5 回／日	なし	—	—	—	CSpOC による提供なし

○：充足、△：差分あり、—：データ提供なし

出所) 三菱総合研究所作成

f. 「6. 再突入・廃棄支援情報」データ

再突入・廃棄支援情報データのデータ要件と CSpOC データとの比較、その差分要因を表 2-51 に示す。

表 2-51 「6. 再突入・廃棄支援情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ

データ要件		CSpOC データ	データ要件と CSpOC データとの差分			差分要因
			Basic	Emergency	Advanced	
位置精度	誤差 1km 以下	誤差数 km	—	—	△	CSpOC の更新が不定期
時間精度	分秒	分秒	—	—	△	CSpOC の更新が不定期

○：充足、△：差分あり、—：データ提供なし

出所) 三菱総合研究所作成

g. 「7. 近接支援情報」データ

近接支援情報データのデータ要件と CSpOC データとの比較、その差分要因を表 2-52 に示す。

表 2-52 「7. 近接支援情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ

データ要件		CSpOC データ	データ要件と CSpOC データとの差分			差分要因
			Basic	Emergency	Advanced	
位置精度	誤差 1km 以下	なし	—	—	—	CSpOC による提供なし
時間精度	分秒	なし	—	—	—	CSpOC による提供なし

○：充足、△：差分あり、—：データ提供なし

出所) 三菱総合研究所作成

h. 「8. 外観情報」データ

外観情報データのデータ要件と CSpOC データとの比較、その差分要因を表 2-53 に示す。

表 2-53 「8. 外観情報」データのデータ要件と CSpOC データとのギャップ

データ要件		CSpOC データ	データ要件と CSpOC データとの差分			差分要因
			Basic	Emergency	Advanced	
画質精度	高分解能	なし	—	—	—	• CSpOC による提供なし
タイミング	リアルタイム応答	なし	—	—	—	• CSpOC による提供なし

○：充足、△：差分あり、—：データ提供なし

出所) 三菱総合研究所作成

2) 差分要因の分析

上記の比較を通じて、ユーザニーズを満たすサービスの実現に求められるデータ要件と CSpOC データとのギャップが明らかとなった。ギャップが生じる要因は 4 点に集約され、各差分を解消した場合に得られる効果について検討した。

要因の 1 点目は「観測装置の性能」である。この差分要因は、ユーザニーズでは観測可能なデブリのサイズが「10cm 以下も対象」とすることが求められているのに対し CSpOC では観測対象が公称 10cm 以上であること、またユーザニーズでは観測装置の位置精度に「誤差 1km 以下」及び「1 σ 100m 級」が求められているのに対し、CSpOC では誤差が数 km とギャップがあることに起因するものである。この差分を解消することによって、10cm 以下の小型デブリに関しても CDM を発行できるようになるほか、物体の位置精度の向上により高精度で CDM を発行できるようになると考えられる。

2 点目は、「CSpOC の更新が不定期」であることである。この差分要因は、ユーザニーズでは更新の頻度に「定期更新 (1-5 回/日)」、時間精度に「分秒」単位、タイミングに「リアルタイム応答」、「打上前日」、「4-5 日前に通知」が求められているのに対し、CSpOC の更新頻度が不定期になることがあることに起因するものである。この差分を解消し、定期的に軌道情報を更新することにより、CDM 発行の遅延が少なくなることが予想される。

3 点目は、「マヌーバ後の情報が反映されるまで時間がかかる」ことである。この差分要因は、ユーザニーズでは位置精度に「誤差 1km 以下」、時間精度に「分秒」単位が求められているのに対し、CSpOC ではマヌーバ後の情報の反映に時間を要することに起因するものである。この差分を解消することにより、マヌーバ後の軌道における他の物体との衝突リスクを早期に認識可能になると考えられる。

4 点目は、「CSpOC としてデータを提供していない」ものについてである。ユーザニーズでは「マヌーバ情報」、「近接支援情報」、「外観情報」が求められているが、現状 CSpOC ではこれらのデータは提供していない。「マヌーバ情報」があれば Secondary 衛星の軌道変更を早期に認識できるようになり、「近接支援情報」があれば RPO に活用でき、「外観情報」があれば衛星の異常状態の把握に利用できるメリットがある。

なお、本分析ではユーザの要望を正とし、比較対象として最も広範囲に利用されている CSpOC を用いた。しかしながら、これらのギャップの解消を全世界のあらゆる物体を対象に監視している CSpOC に求めるものではなく、こうしたギャップを埋めることが民生プラットフォームの価値になると考えられる。

2.2.4 統合・解析の在り方検討

2.3.3 項で述べたように、ユーザが求めるサービスと現状の CSpOC が提供しているサービスとの間にはギャップが存在している。全てのギャップを埋めることは現実的でないが、費用対効果にかなう方策があるのであれば、ユーザの要望を満たし民生プラットフォームの価値創出につながる事となる。

ギャップを埋める方策としては、(1) データを組み合わせることで新たな価値を創出する統合・解析による方向性と、(2) 独自のセンサによる観測によりデータを増加させる方向性の 2 つが考えられる。ここでは前者のデータを組み合わせた統合・解析による解決の方向性について、接近解析を例として述べる。なお、独自センサの検討については、3.2 節において詳細を述べる。

(1) 接近解析のプロセスの現状と課題

CSpOC における接近解析プロセスは、CSpOC の保有するカタログに存在する全ての軌道上の物体 (Classified 及び Unclassified) 間の密接な接近を識別する。これらのデータは、米国が全世界に配備した米国宇宙監視ネットワーク (SSN : Space Surveillance Network) により取得されている。SSN による観測結果は「特別摂動」 (SP : Special Perturbation) 軌道伝搬理論を実装する解析システムに入力される。軌道決定 (OD : Orbit Determination) は、各物体の位置と速度を決定するために 1 日に複数回自動的に実行され、高精度カタログ (HAC : High Accuracy Catalog) として更新される。CSpOC の接近解析チームは、HAC を使用して、他のすべての物体 (アクティブな衛星と非アクティブなオブジェクト (破片、ロケット本体、運用を終了した衛星等) を含む) に対してスクリーニングする。スクリーニングは以下の 3 種類が実行される。

- HAC vs HAC
 - CSpOC カタログ間で全てスクリーニング
 - GEO は 24 時間毎更新、LEO は 8 時間毎に更新
- 衛星事業者から提供された軌道歴 (Ephemeris) vs. HAC
 - 衛星事業者が提供した軌道歴が評価される
 - GEO、LEO とも 8 時間毎更新
- 衛星事業者が提供した軌道歴間同士
 - GEO、LEO とも 8 時間毎更新

スクリーニングプロセスを図 2-25 に示す。

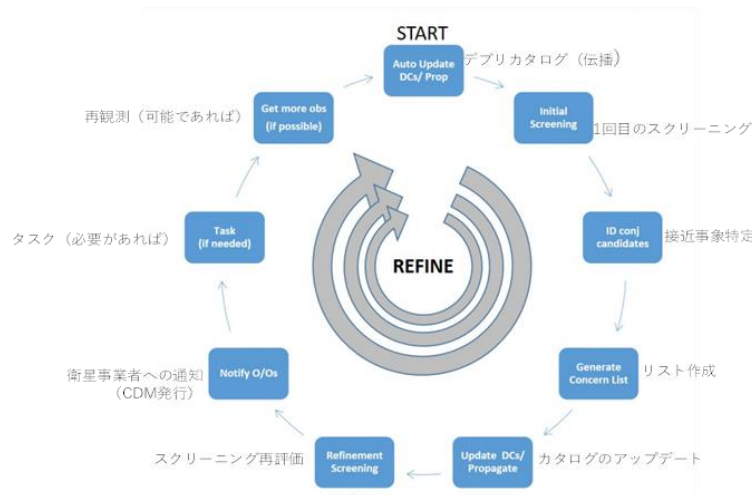


図 2-25 CSpOC におけるプロセス

出所) SPACEFLIGHT SAFETY HANDBOOK FOR SATELLITE OPERATORS, VERSION 1.5, AUGUST 2020

すなわち、CSpOC では、衛星事業者から軌道歴が提供されれば、その軌道歴と CSpOC が保有するカタログ情報（HAC）間でのスクリーニングが実施されている。このスクリーニングは、全て高精度な情報（CSpOC の HAC、衛星事業者の軌道歴）で実施されており、精度的には悪くはない。しかし、衛星事業者が自ら接近解析を実施する場合、Basic サービスのみを利用している事業者は、セカンダリ物体の軌道情報は TLE のみとなるため、接近解析には適さないことによる精度面での不満が生じている。なお、NASA の「Spacecraft Conjunction Assessment and Collision Avoidance Best Practices Handbook」には、「（Basic サービスで提供されている）TLE 情報は接近解析用データとして十分ではない」との注釈もされており、TLE は接近解析用データとして利用を推奨されていない。また、衛星のマヌーバの情報の反映がタイムリーに行われず、解析結果の提供時間が保証されないといった課題も生じている。

なお、2.2.3 項で述べたように、セカンダリ物体の接近解析に利用できる高精度な軌道情報は、「Data Sharing Agreement」を締結し Advanced サービスを利用することで入手可能である。ただし、Advanced サービス利用のための Agreement 締結者は、2019 年 4 月時点で、日本を含む 20 か国、2 つの国際組織、78 企業に留まり、多くのユーザが Basics サービスのみの利用となっているのが現状である。

(2) 統合・解析の在り方

(1) の状況を踏まえ、我が国の SSA ユーザのために SSA プラットフォームにて各種の情報を集約・統合・解析し、新規ユーザ等でも容易に利用可能な情報として提供することを検討する。なお、SSA プラットフォームは、CSpOC の Basics サービスを利用可能な状態と想定する。

まず、集約する情報としては以下が候補となる。

- 衛星事業者（Owner/Operator）が提供する軌道データ（Ephemeris）

- 国内政府機関による観測データ（Ephemeris）
- CSpOC が提供する軌道データ（TLE）
- 海外の商用 SSA サービスプロバイダーが提供する軌道データ（Ephemeris）
- 独自センサによるオンデマンド観測データ

これらの情報をそれぞれ組み合わせて解析を行うことで、接近解析を行う。

具体的な解析としては、「接近がいつ発生するかの予測」や「二つの物体が衝突する可能性および衝突による影響の評価」などが想定され、これらの結果をユーザへと提供することとなる。ただし、現状ではどのデータの組み合わせを用いても絶対的な解は得られないことから、様々なソースのデータを用いて解析を行い、より確からしい解を推測する、というアプローチとなる。そのためにも、複数のソースから鮮度の高い軌道データを入手できることは重要である。

その他、統合・解析の結果を踏まえて、セカンダリ物体との衝突を避けるための回避プランの提示などもサービスとしては候補となってくるが、これらについては 2.3 の概念検討にて詳細を述べる。

ここでは、接近解析を例として述べたが、回避計画立案、軌道離脱、打上げ時接近解析など、衛星運用者や打上げ事業者が必要とする情報は多い。個々の事業者が個別に情報・データを収集して解析するのではなく、SSA プラットフォームが集約し、統合・解析を行うことで、特に今後、増えることが見込まれている新たな SSA ユーザにとっては、大きなメリットが生じると考えられる。

2.3 概念検討、試作、評価

本節では、2.1 のニーズ調査およびそれに基づくサービスの定義と 2.2 のサービスに必要なデータ入手検討の結果を踏まえて、概念検討および概念検討結果に基づく試作等を行った。概念検討に先立ち、第 1 STEP として日本において SSA システム／サービスを開発・運用してきた実績を保有する富士通と NEC の両社でサービスの洗い出し等を行うことにより抜け、漏れを防止するとともに、第 2 STEP 以降は 2 社並列で行うことで、検討成果の多様性を担保した。

■ 【C)-1】 概念検討

- 第 1 STEP であるサービスの洗い出しを複数社で実施することにより、抜け・漏れ等が生じないようにした。
- 次に、第 2 STEP では、A 及び B の検討結果を受け、①で洗い出したサービスについて、アプリケーションの構成及び各アプリケーションが動作するシステムの構成を検討した。

■ 【C)-2】 試作・評価

- 概念検討結果を用い、一部のサービスを試作した。
- 試作したサービスについて検討会にて評価をいただいた。

2.3.1 概念検討結果

概念検討の出発点となるサービスについては、検討の出発点を揃えることで NEC、富士通の 2 社の検討結果を比較可能とするため共通とした。ただし、どのサービスをどのような機能で実現するかについては各社の裁量の範囲とし、以降の検討については多様性のある検討結果を得るために各社独立して検討を行った。

(1) サービスの洗い出し

2.1 節で述べたニーズ調査およびそれに基づくサービスの定義より洗い出されたサービスを以下に示す。ただし、サービスの検討の過程において、複数のサービスを組み合わせることにより高度なサービスを提供可能な可能性が見いだされたことから、No.16 の SOF (Safety of Flight) 支援と No.17 の衛星コンステレーション管理の 2 つのサービスを追加し、計 17 個のサービスの提供を前提として検討を進めることとした。

表 2-54 民生 SSA プラットフォームが提供するサービスとその概要

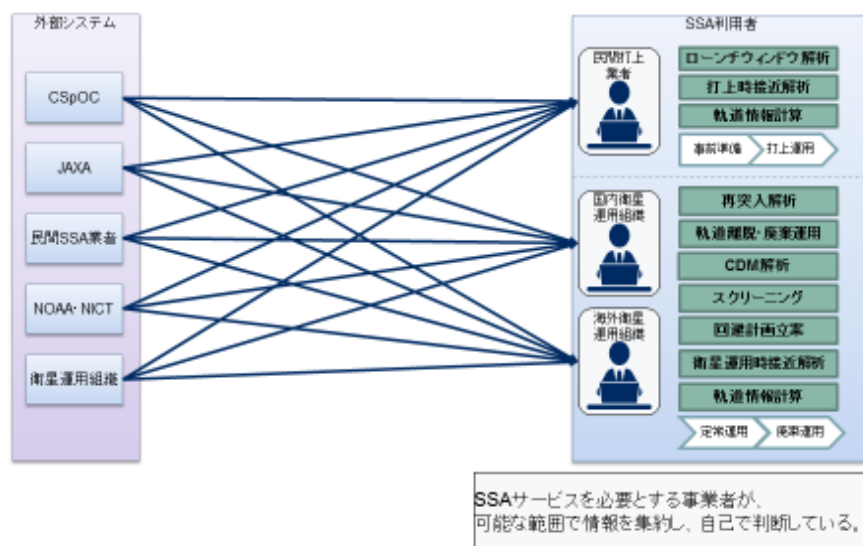
	サービス名	概要
1	打上時接近解析	打上げ計画に基づいて打上げ日時を解析するとともに、打上げ直後の適時性を持った接近解析結果及び CDM を提供する。
2	ローンチウインドウ解析	ローンチウインドウ情報の算出を行う。
3	軌道情報提供	希望する物体の軌道情報（軌道暦、TLE 等）を提供する。

4	衛星運用時接近解析	独自に接近解析するために、クライアント物体のタンブリングレートを提供する。
5	スクリーニング	高精度なオンデマンドスクリーニング結果を提供する。日本の官民が運用／所有する衛星に関してはスクリーニングの優先度を上げる。
6	CDM 発行	日本が運用／保有する衛星に対して優先的に高精度で適時性を持った接近解析結果及び CDM を発行する。
7	回避計画立案支援	運用計画の立案を支援する。具体的には ΔV の計画を提案し、ユーザの利便性を高める。
8	再突入解析	地球の大気圏に突入する物体の正確な再突入位置と時間を予測する。
9	軌道離脱・廃棄運用支援	運用が終了した衛星を廃棄するため、軌道を離脱させるため、軌道離脱・廃棄運用計画の立案を代行する。またその間の衝突解析も実施する。
10	宇宙天気情報提供	衛星運用時に支障が出た時、衛星異常事象発生後の故障解析を行う時又は測位精度劣化時の電離層攪乱状況を確認する時に必要な宇宙天気情報を提供する。
11	衛星モニタリングサービス	故障や経年劣化を把握するための各種外観情報を提供する。
12	観測情報提供	要求に応じて衛星の状況を撮像した画像を提供する。
13	他のデータベース情報の提供	入力データの充実とデータフュージョンを図り、利用者に提供する情報の精度を高める。
14	その他情報提供	SSA に関連する各種情報を提供する。
15	打上申請支援	現状より短期間（1 か月程度）での許認可を実現するための支援サービスを提供する。
16	SOF 支援	SOF のための各種支援サービスを提供する。
17	衛星コンステレーション管理	衛星コンステレーション運用者を支援する。

出所) 三菱総合研究所作成

上述のサービスを提供するシステムのコンセプトを図 2-26 に示す。現状では、各事業者が外部のシステムから個別に情報を収集し分析をしているうえ、サービス内容も限られている。しかし、本検討の対象である民生 SSA プラットフォームが外部システムからの情報を一元的に集約し、情報へのアクセスを容易するとともに、上述のユーザのニーズに沿ったサービスを提供するといった状態を実現することを目指すこととした。

システム概念 before



システム概念 after

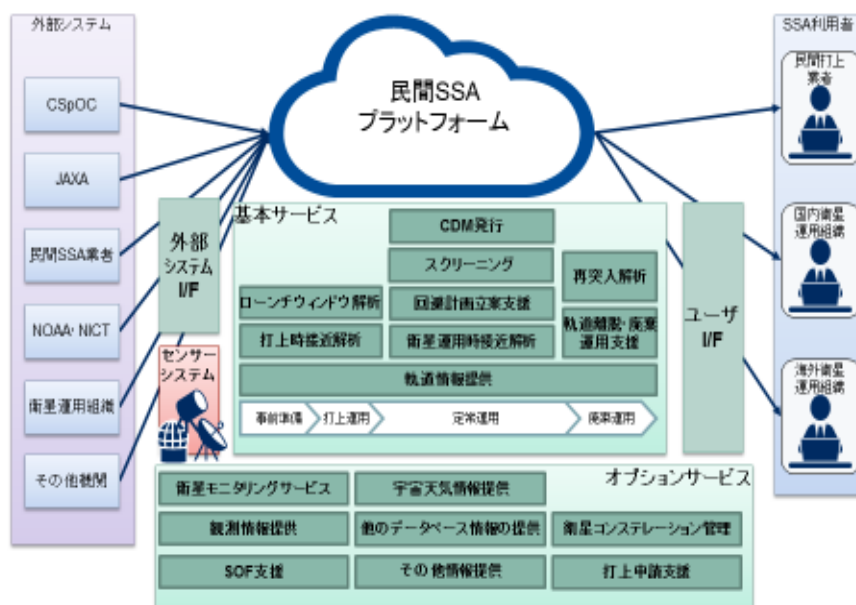


図 2-26 システムコンセプト (上) Before (下) After

出所) 富士通作成

(2) 実現構成の検討

ここでは、NEC、富士通の2社による検討結果を述べる。

1) NEC 検討結果

a. システムコンセプト

民生 SSA プラットフォームの概念検討を実施するにあたり、ユーザアンケート及びヒアリング内容を分析した結果、CDM 発行に伴う情報の信頼性が不足しており、ユーザにおいて回避判断時の運用負荷が高いことが抽出された。

この課題を解決すると共に、将来の宇宙環境変化（物体数の増加に伴う更なる CDM の多発等）を鑑み、衛星運用ノウハウが少ないユーザも SSA を利用できる環境の整備が必要であると考える。

これらヒアリングから導かれた結果及び、民生 SSA プラットフォームの構築を確実に実行するという観点から、概念検討では、以下をコンセプトとした。

- **軌道情報の鮮度を高く保つことによる、正確性の高い解析結果の提供**

ユーザが求める接近解析（CDM）の正確性を上げるため、衛星の軌道情報の鮮度を高く保ち、Secondary 宇宙物体もオンデマンドで観測しスクリーニングができるプラットフォームとする。よって、本プラットフォームの一部として本用途に適したセンサの配備を前提とする。

- **ユーザの能力に応じたサービスの提供**

ユーザが保有する衛星の安全な運用を支援するため、各ユーザが持つニーズやノウハウに応じて必要なサービスが、様々なレベルで受けられるプラットフォームとする。

- **衛星運用経験/SSA 運用経験から導き出された必要なサービスの提供**

実際に衛星運用、SSA 運用を行ってきた経験から、安全な衛星運用にどのような情報・サービスが必要であり、どのようにユーザに提供できるかを理解した上で、本プラットフォームの概念を検討する。

なお、ユーザのニーズから導出された以下のサービスについて、それに対する技術的实现性を考慮した結果、民生 SSA プラットフォームでの実現サービス対象外とする。

- 宇宙天気情報提供
- 観測情報提供
- 他のデータベース情報の提供
- 打上申請支援
- 衛星コンステレーション管理

b. システム構成の検討

各サービスを実現するために必要なシステム構成の検討を行った。検討結果を図 2-27 に示す。

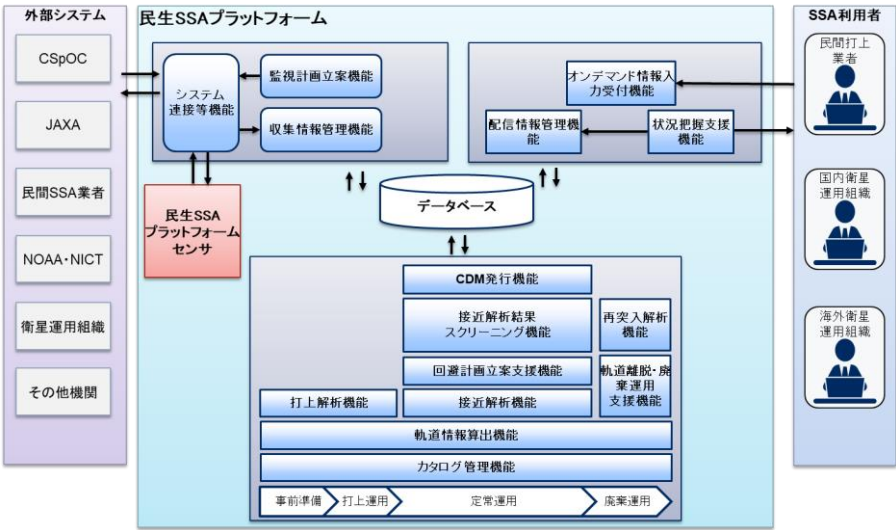


図 2-27 システム構成

出所) NEC 作成

c. 入出力データの検討

サービスを実現するための入力データ、処理、出力データを明確にした。監視計画立案の場合の入出力データおよび処理の整理を表 2-55 に示す。

表 2-55 監視計画立案サービスにおける入出力データの検討結果

機能名：監視計画立案機能		
入力	処理	出力
オンデマンド情報入力受付機能からの入力： ・衛星 ID カタログ DB： ・カタログ情報	1. 監視計画立案支援処理 SSA 利用者が指定した衛星 ID より、カタログ情報を用いて当該物体を監視可能な民生 SSA プラットフォームセンサの一覧を選出する。 選出したセンサの情報及びカタログ情報に基づき、監視計画立案に必要な下記情報を算出し、状況把握支援機能を介して SSA 利用者に文字情報及びグラフとして表示する。 ・レーダーセンサの場合： 可視時間、当該センサから宇宙物体に対する距離、方位角及び仰角 ・光学センサの場合： 可視可能時間、赤経及び赤緯 2. 監視優先度リスト作成処理 SSA 利用者が指定した衛星 ID に対して、民生 SSA プラットフォームセンサの保守整備計画を踏まえ、月次の監視優先度を示した一覧表（以下、「監視優先度リスト」という。）を作成する。 月次の監視優先度リストから日次の監視優先度リストを作成する。また、月次及び日次の監視優先度リストは、SSA 管理者が手動操作により更新できるものとする。 3. 監視計画立案処理 日次の監視優先度リストに基づき、民生 SSA プラットフォームセンサの監視計画を立案し、システム連携等機能を介して、民生 SSA プラットフォームセンサに監視計画を送信する。 4. 監視計画表示処理 月次及び日次の監視優先度リストに基づいた監視計画を抽出し、状況把握支援機能を介して SSA 利用者に文字情報及びグラフとして表示する。	システム連携等機能への出力： ・監視計画 状況把握支援機能への出力： ・監視計画
前提条件等 なし		

出所) NEC 作成

d. サービス実現方式の検討

サービス実現に必要な機能間連携、データの流れおよび外部インターフェースとの関係性を確認するため、シーケンス図を作成し、詳細化した。図 2-28 に示す。

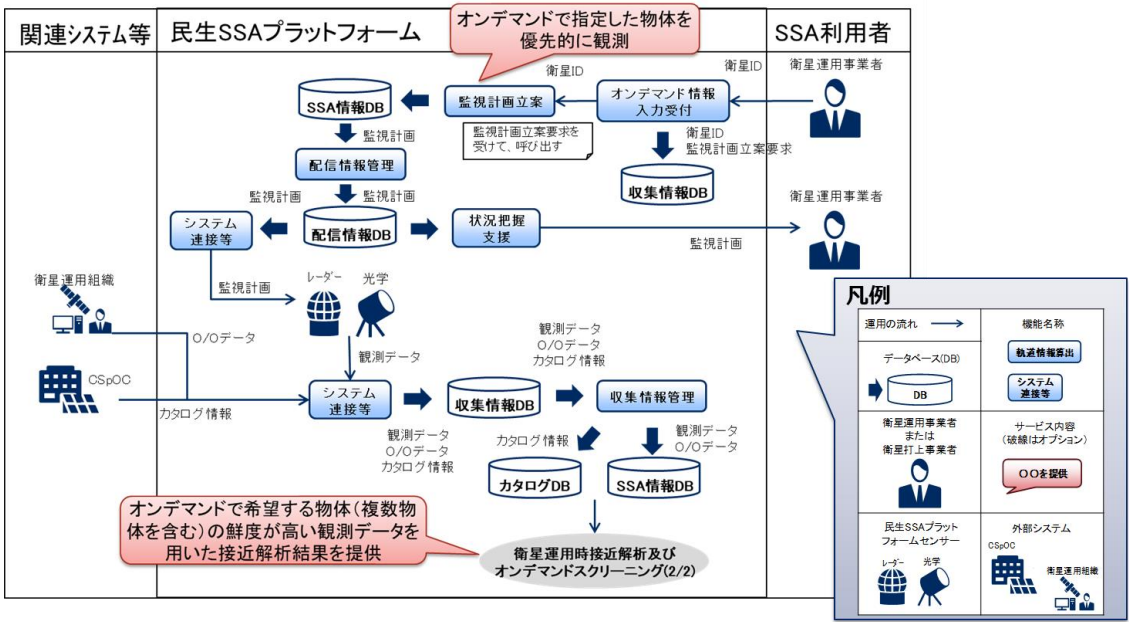


図 2-28 シーケンス図の一例

出所) NEC 作成

2) 富士通検討結果

a. システムコンセプト

ユーザへのアンケートおよびヒアリングの結果において、発行された CDM の検証作業の運用負荷が高く、今後衛星数が増加した場合更なる増大するリスクがあることに着目した。CDM の検証作業が必要な要因としては、最新の軌道制御の未反映、軌道決定に利用している観測データの違いなどが挙げられる。

これらを受け、本検討ではユーザが判断する際に使用するデータの信頼度の見える化をし、運用負荷を軽減することを概念設計のコンセプトとした。

概念検討全体の流れを図 2-29 に示す。

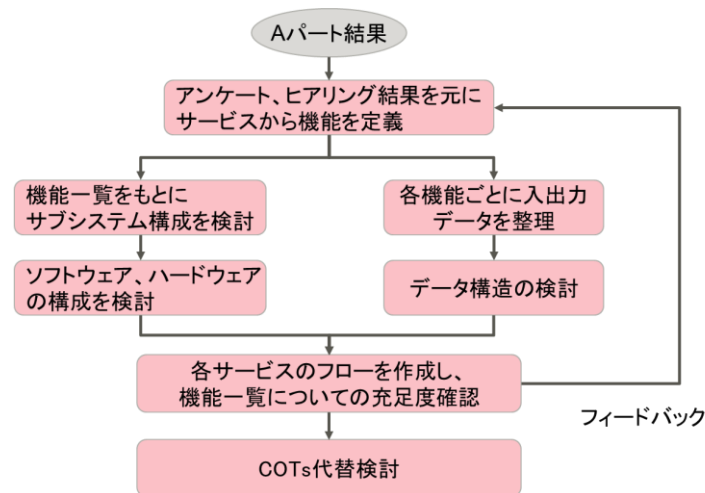


図 2-29 概念検討全体の流れ

出所) 富士通作成

b. システム構成の検討

システムの機能としては、ユーザが運用する衛星の軌道制御計画の取り込みや各軌道データの比較が可能となるものとした。また、接近解析に使用したデータに対し付加情報として、センサの観測量や軌道決定からの経過日数や Owner/Operators (O/Os) データであるかどうか等の解析結果と入力データをトレースできる仕組みを具備するシステムの実現を検討した。サービスを実現する機能とそれを実現するシステム構成の検討結果を図 2-30 に示す。

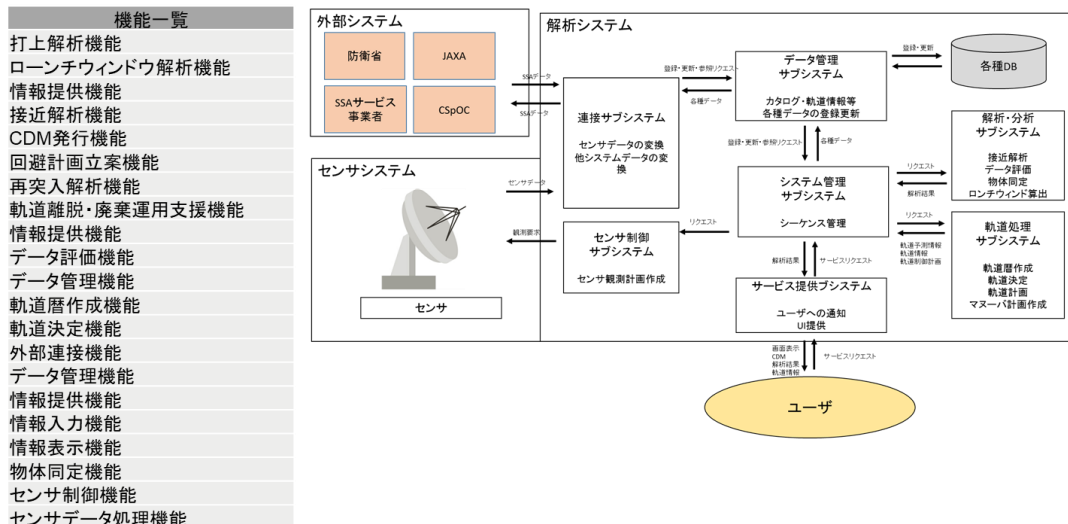


図 2-30 機能一覧とサブシステム構成

出所) 富士通作成

c. 入出力データの検討

検討した機能ごとに入出力データの整理を行った。また、データベースの構造の検討を行った。検討結果を図 2-31 に示す。

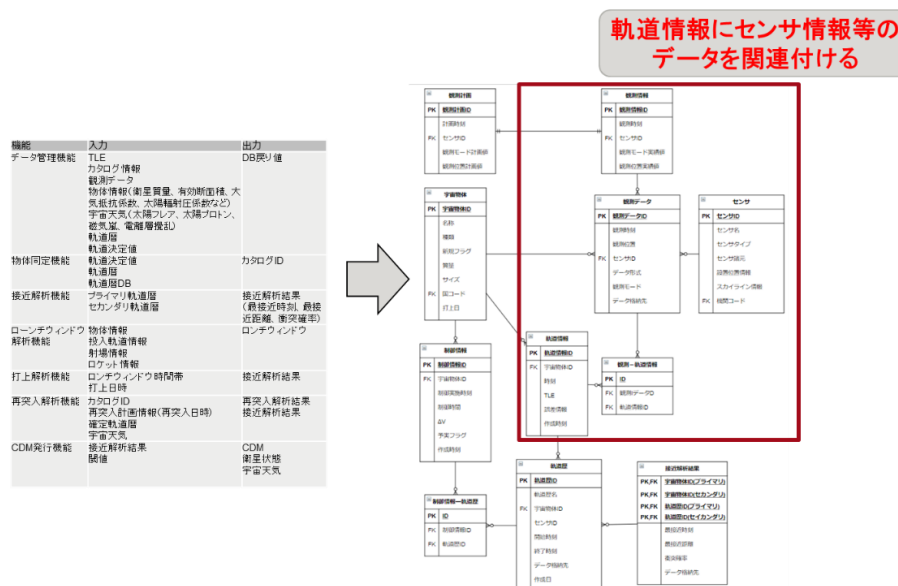


図 2-31 機能ごとの入出力データの整理 (左) とデータベース構造 (右)

出所) 富士通作成

d. サービス実現方式の検討

定義した機能一覧についての充足度の確認のため、各機能に対する入出力データおよびデータフローの整理を行った。整理例を図 2-32 に示す。

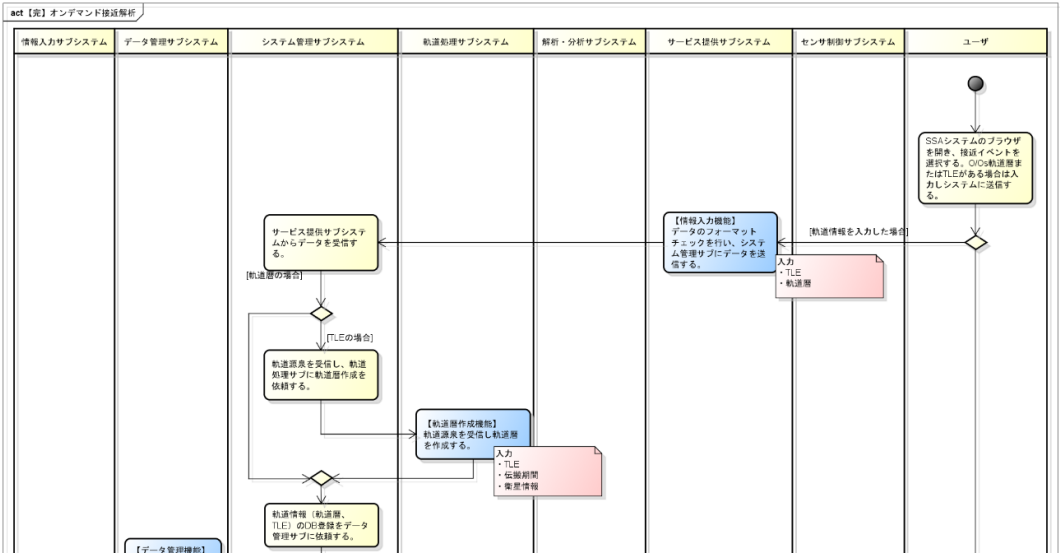


図 2-32 各機能に対する入出力データ及びデータフローの一部

出所) 富士通作成

(3) 代替可能性検討

概念検討の一環として、市場アプリの調査を行った。具体的には、既存のサービスを提供している企業に対しメールでのヒアリングを行った。サービス名、会社名、サービス概要、回答の有無、本報告書の（別章での）記載箇所を下記の表に示す。本調査結果等を用い、NEC は SEG と FreeFlyer、富士通は AGI を対象に、COTS 品を利用による代替可能性の検討を行った。

表 2-56 市場アプリ調査および調査結果

サービス名 / 会社名	サービス概要	回答	記載箇所
Advanced SSA / SpaceNav	SaaS(Software as a Service)として、以下を例とした様々な SSA サービスをプラットフォームから提供している。 ・ 接近解析 ・ 軌道決定 ・ マヌーバ計画立案、実績評価 ・ 誤差共分散の評価 ・ SSA 関連情報、統計情報の出力 ユーザからの要望に応じて、ユーザー保有設備へのインストール、及び運用が可能である。		
ESpOC / ExoAnalytic	生の観測データの販売から、軌道、接近警告、アラート及び主要な軌道上のイベントに直面している衛星運用事業者の行動方針の決定支援まで、幅広い顧客向けのプロダクトを提供している。	○	2.2.1(1)1)e

FreeFlyer / ai Solutions	これまで、NASA、NOAA、米空軍、民間 様々な機関で利用されてきた、解析アプリケーションであると謳っている。軌道決定、マヌーバ計画、センサーカパレッジ解析、接近解析、事象の可視化等、衛星運用に必要な機能を具備している。 また、解析のアルゴリズムが多数 API 化されており、ユーザのシステムにアルゴリズムを組み込むことが可能な構成となっている。	○	
iSpace / Lockheed Martin	SSA に加え、宇宙の C2(Command & Control)や BM(Battle Management)を支援できるアプリケーションであると謳っている。 主な機能は以下。 ・ 基本的な SOF の支援（接近解析、イベント検知 等） ・ センサータスキング ・ 訓練用イベント生成 ・ 注視物体監視 ・ イベント等の情報の可視化 ヒアリング結果より、ユーザニーズに応じたカスタマイズが可能であり、初期インストール等のサービスも提供している。スタンドアロンでも利用可能。世界のセンサネットワークから光学、レーダ、RF 等のデータを購入し運用できる。	○	2.2.1(1)1)g
LeoLabs Platform for Operators and Developers / LeoLabs	所有する 3 基（アメリカに 2 基、ニュージーランドに 1 基）のレーダ基地の LEO 観測データを用い 15,789 の物体の追跡情報を Web ブラウザ、コマンドライン、API のインターフェースで提供している。		2.2.1(1)1)d
SpaceSentry / L3 Harris	世界の 7 つのサイトにある電子光学センサネットワークで構成されるグローバルオブティカルネットワーク（GON）を所有。		2.2.1(1)1)f
STK / AGI	光学望遠鏡、RF アンテナ、レーダからなる全世界のセンサネットワークから LEO、MEO、HEO、GEO にある物体の追跡情報を解析し、データベース化を実施している。	○	2.2.1(1)1)c

出所）各社情報を基に三菱総合研究所作成

2.3.2 試作

概念検討の結果を受け、一部のサービスについて試作を行った。以下に各社の試作成果を示す。

(1) NEC による試作

NEC による試作対象は以下の 3 つのサービスである。

- **スクリーニングサービス**

最新のデータ同士により正確性の高い接近解析及びスクリーニングを実施し、その結果を衛星運用組織に提供するサービス。Secondary 宇宙物体を、民生 SSA プラットフォームセンサを用いてオンデマンドで観測し、鮮度の高いデータで軌道決定することにより、確度の高い接近解析結果を提供する。

- **回避計画立案支援サービス**

回避行動（マヌーバ）を踏まえた計画の立案を支援するサービス。マヌーバを考慮した上での全物体との接近解析を実施し、安全なマヌーバ計画が立案できている

か確認結果を提供する。

- 衛星モニタリングサービス

見守り対象衛星の、SSA 情報をもとにした解析情報を提供するサービス。計画上の軌道維持範囲内（緯度、経度及び高度）からの離脱が無いか等をモニタし、逸脱する兆候や、それによって予想できる周辺環境の変化があれば、アラームを上げる。

- a. スクリーニングサービス

CDM 受領時における回避行動判断について、現状の流れを示す。

- ① CSpOC から CDM が衛星運用組織に発行される。更新は定期的（8 時間毎等）に通知される。
- ② 衛星運用組織は O/O データを CSpOC 提供する。
- ③ CSpOC にてオンデマンドスクリーニングが実施され、その結果が通知される。しかし、CSpOC は本事象だけの対応を行っているわけではないので、時間を要する場合がある。
- ④ 衛星運用組織にて回避要否を判断する。

上記、③において、運用者側はスクリーニング結果が早く欲しいというニーズがある。

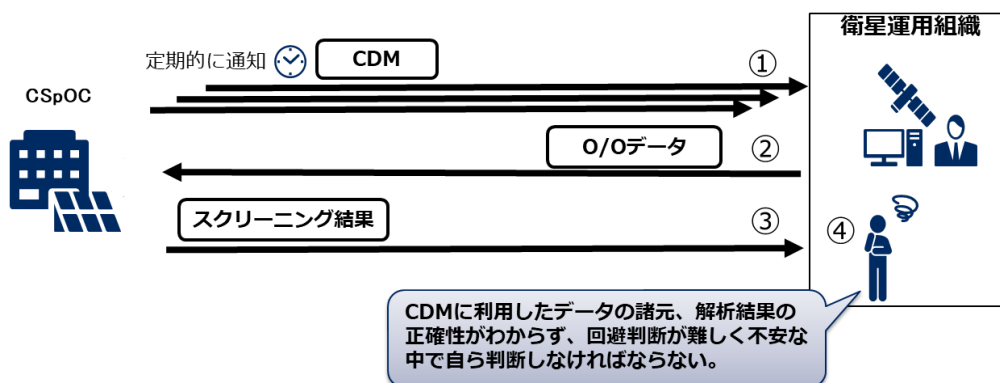


図 2-33 CDM 受領時における回避行動判断の流れ（現状）

出所) NEC 作成

CDM 受領時における回避行動要否判断について、提供サービス実現後の流れを示す。

- ① CSpOC から CDM が衛星運用組織に発行される。（現状と同じ）
- ② 衛星運用組織は O/O データをスクリーニング要求とともに、民生 SSA プラットフォームに提供する。
- ③ 民生 SSA プラットフォームセンサに対して、Secondary の観測要求が行われる。
- ④ 民生 SSA プラットフォームセンサより取得された最新の Secondary の観測データを用いた接近解析が行われる。
- ⑤ 最新の O/O データ、最新観測データを用いた軌道情報を使用した接近解析結果が通

知される。

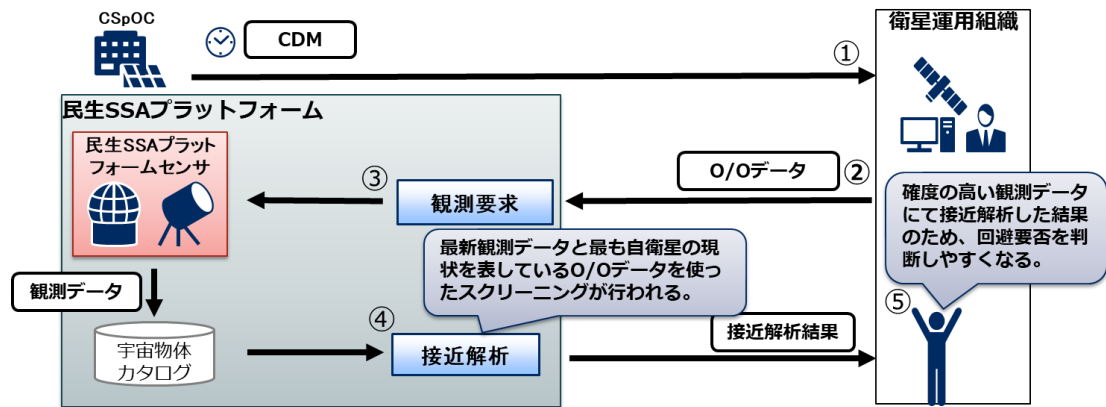


図 2-34 CDM 受領時における回避行動判断の流れ（サービス実現後）

出所) NEC 作成

上記、①～⑤について試作結果を示す。

① CSPOC から CDM 受領

CSPOC から発効された CDM を受領した際の画面表示が図 2-35 である。下記は現状の通りである。

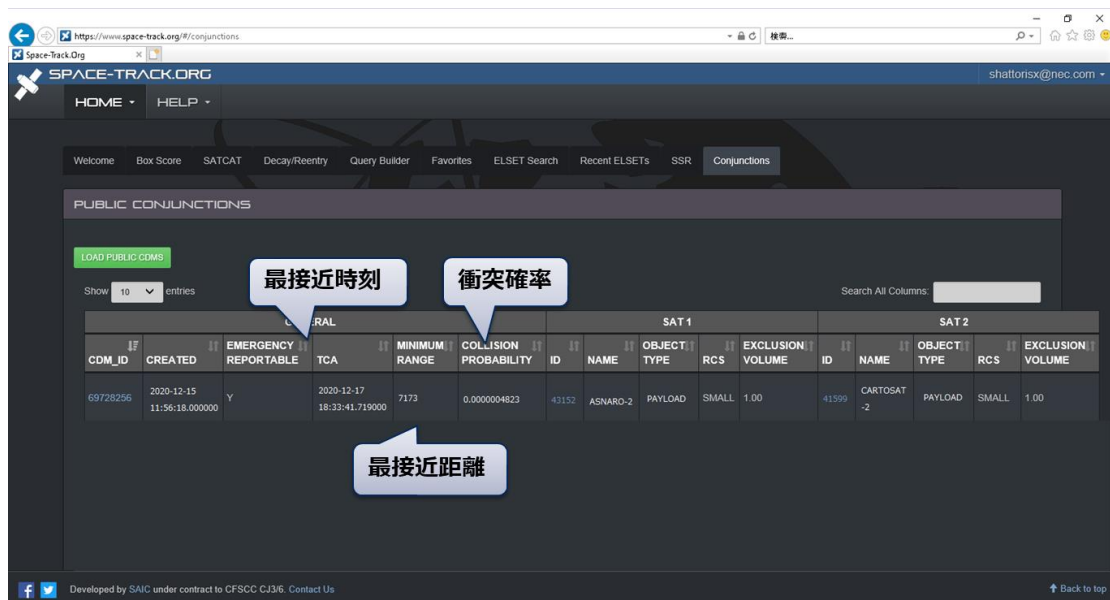


図 2-35 CSPOC から CDM を受領した際の画面表示

出所) NEC 作成

② O/O データの提供

衛星運用組織は、スクリーニング要求とともに、図 2-36 に示す画面から、民生 SSA プラットフォームに対し O/O データを提供する。

O/Oデータで接近解析を行うため、O/Oデータをアップロードする。

Secondary 宇宙物体ID	データ源泉	最終更新	最接近時刻	最接近距離(m)	衝突確率	観測要求	CDM ダウンロード
SSN.AAAAA	TLE	3日前	2022/07/15 19:41:11.793	85	1.123e-3	☐	DL
SSN.AAAAA	独自DB	2日前	2022/07/15 19:41:11.793	103	1.024e-3	☐	DL
SSN.DDDDD	TLE	2日前	2022/07/17 05:25:04.103	4500	1.254e-9	☐	DL
SSN.DDDDD	独自DB	12時間前	2022/07/17 05:28:11.793	4000	1.354e-8	☐	DL
SSN.CCCCC	TLE	1日前	2022/07/21 14:17:56.145	2500	1.214e-9	☐	DL
SSN.CCCCC	独自DB	12時間前	2022/07/21 14:18:45.158	2000	1.114e-8	☐	DL
SSN.BBBBB	TLE	3日前	2022/07/21 23:41:45.471	340	3.453e-4	☐	DL

図 2-36 O/O データを提供する画面表示

出所) NEC 作成

③ Secondary の観測要求

民生 SSA プラットフォームによってなされたオンデマンドスクリーニングの結果から、運用事業者は Secondary を選択（複数可）し、観測要求を行う。



オンデマンドスクリーニングの実施結果から、複数のSecondaryに対してオンデマンド観測を要求することを判断。

Secondary 宇宙物体ID	データ源泉	最終更新	最接近時刻	最接近距離(m)	衝突確率	観測要求	CDM ダウンロード
SSN.AAAAA	TLE	3日前	2022/07/15 19:41:11.793	85	1.123e-3	☐	DL
SSN.AAAAA	独自DB	2日前	2022/07/15 19:41:11.793	103	1.024e-3	☒	DL
SSN.DDDDD	TLE	2日前	2022/07/17 05:25:04.103	4500	1.254e-9	☐	DL
SSN.DDDDD	独自DB	12時間前	2022/07/17 05:28:11.793	4000	1.354e-8	☐	DL
SSN.CCCCC	TLE	1日前	2022/07/21 14:17:56.145	2500	1.214e-9	☐	DL
SSN.CCCCC	独自DB	12時間前	2022/07/21 14:18:45.158	2000	1.114e-8	☐	DL
SSN.BBBBB	TLE	3日前	2022/07/21 23:41:45.471	340	3.453e-4	☒	DL

図 2-37 Secondary の観測要求に関する画面表示

出所) NEC 作成

④ 最新観測データを使用した接近解析

民生 SSA のプラットフォームセンサにより得ることができた最新のデータを用いて、Secondary を含む物体に対して確度の高い接近解析を行う。

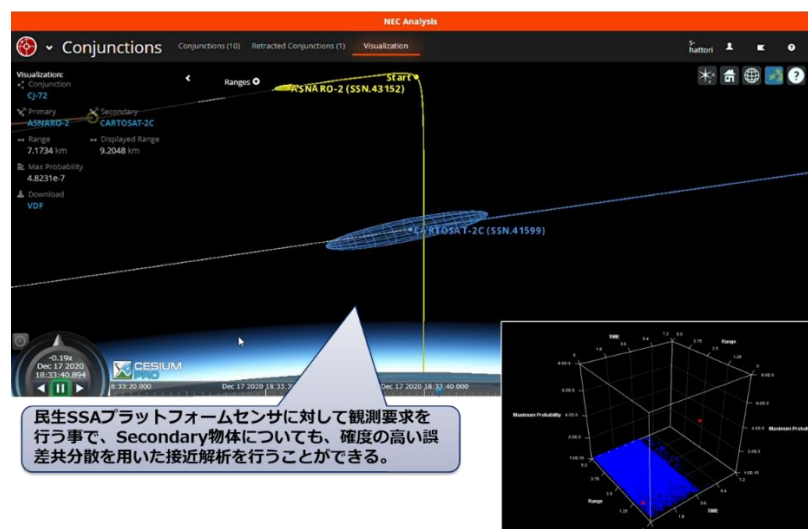


図 2-38 最新観測データを使用した接近解析のイメージ

出所) NEC 作成

⑤ 接近解析結果の通知

接近解析の結果を通知する画面が図 2-39 である。精度の高い接近解析の結果、衝突確率が依然として高い物体（赤で色づけ）と衝突確率が低く回避行動の検討が不要な物体（青で色づけ）が峻別される。衛星運用者は衝突確率が高い物体に対し、今後回避行動の検討を行うことになる。

Secondary 宇宙物体ID▼	データ源泉▼	最終 更新	最接近時刻▼	最接近距離(m)▼	衝突確率▼	観測要求	CDM ダウンロード
SSN.AAAAA	TLE	4日前	2022/07/15 19:41:11.793	85	1.123e-3	■	DL
SSN.AAAAA	独自DB	最新観測	2022/07/15 19:41:11.793	3400	1.532e-6	■	DL
SSN.DDDDD	TLE	8時間前	2022/07/17 05:25:04.103	4500	1.254e-9	■	
SSN.DDDDD	独自DB	6時間前	2022/07/17 05:25:04.103	2000	1.354e-8	■	
SSN.CCCCC	TLE	2日前	2022/07/17 05:25:04.103	2000	2.14e-9	■	
SSN.CCCCC	独自DB	18時間前	2022/07/17 05:25:04.103	2000	1.114e-8	■	DL
SSN.BBBBB	独自DB	最新観測	2022/07/21 23:41:45.471	125	1.456e-4	■	DL

図 2-39 接近解析結果の通知画面表示

出所) NEC 作成

ここで、回避行動が必要な場合は、回避計画立案サービスに進み、回避計画の立案を行う。

b. 回避計画立案サービス

CDM 受領時における回避計画立案について、現状の流れを示す。

- ① CSpOC から CDM が衛星運用組織に発行され、衛星運用組織が回避行動を実施する事を決断する。
- ② 衛星運用組織がマヌーバ計画を作成し、CSpOC にオンデマンドスクリーニングを依頼する。
- ③ CSpOC にてオンデマンドスクリーニングが実施され、その結果が通知される。
- ④ 衛星運用組織にて回避運用を実施する。

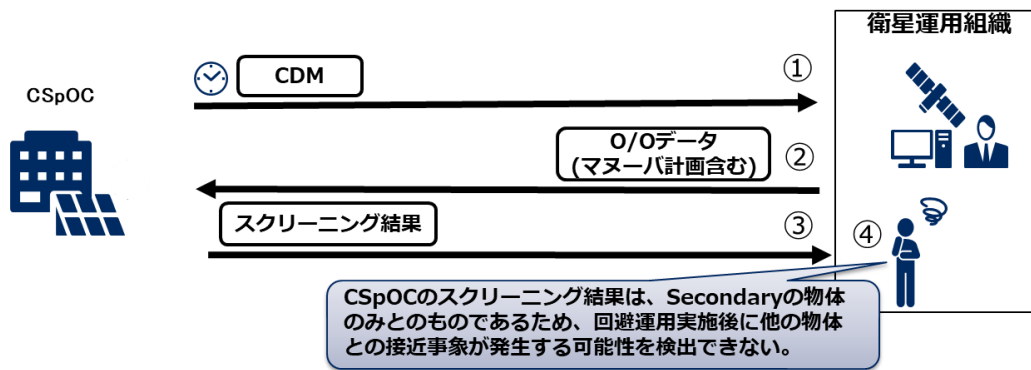


図 2-40 CDM 受領時における回避計画立案の流れ（現状）

出所) NEC 作成

CDM 受領時における回避計画立案について、提供サービス実現後の流れを示す。

- ① CSPOC から CDM が衛星運用組織に発行され、衛星運用組織が回避行動を実施する事を決断する。（現状と同じ）
- ② 衛星運用組織は、O/O データとともに ΔV 情報を民生 SSA プラットフォームに提供する。
- ③ O/O データまたは民生 SSA プラットフォームで生成している軌道を基に ΔV 情報を適用した軌道暦が提供される。
- ④ 民生 SSA プラットフォームのオンデマンドスクリーニングサービスで他物体についてもスクリーニングを実施する。

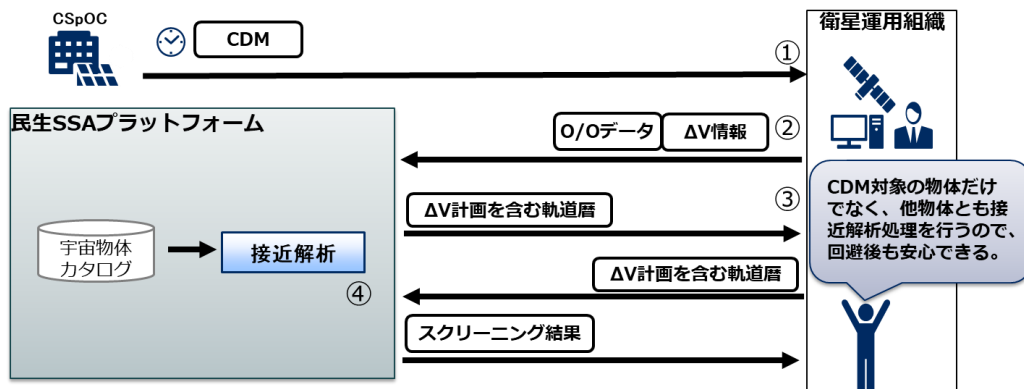


図 2-41 CDM 受領時における回避計画立案の流れ（サービス実現後）

出所) NEC 作成

上記、②、④について試作結果を示す。

② ΔV 情報の入力

衛星運用者は、図 2-42 の画面にて、 ΔV 情報を民生 SSA プラットフォームに対し

て提供する。

図 2-42 ΔV 情報の入力画面

出所) NEC 作成

④ ΔV 計画を含む軌道暦の提供

民生 SSA プラットフォームのオンデマンドスクリーニングサービスで他物体についてもスクリーニングを実施する。

Secondary 宇宙物体ID▼	データ源泉▼	最終更新	最接近時刻▼	最接近距離(m)▼	衝突確率▼	観測要求	CDM ダウンロード
SSN.AAAAA	TLE	3日前	2022/07/15 19:41:11.793	85	1.123e-3	■	DL
SSN.AAAAA	独自DB	2日前	2022/07/15 19:41:11.793	103	1.024e-3	■	DL
SSN.DDDDD	TLE	2日前	2022/07/17 05:25:04.103	4500	1.254e-9	■	DL
SSN.DDDDD	独自DB	12時間前	2022/07/17 05:28:11.793	4000	1.354e-8	■	DL
SSN.CCCCC	TLE	1日前	2022/07/21 14:17:56.145	2500	1.214e-9	■	DL
SSN.CCCCC	独自DB	12時間前	2022/07/21 14:18:45.158	2000	1.114e-8	■	DL
SSN.BBBBB	TLE	3日前	2022/07/21 23:41:45.471	340	3.453e-4	■	DL

図 2-43 ΔV 計画を含む軌道暦の提供画面表示

出所) NEC 作成

c. 衛星モニタリングサービス

衛星運用組織が、O/O データをもとに自らモニタリングしている現状であり、運用対象の衛星の客観的な情報を保持しておらず、正当性を主張できない状態である。

衛星モニタリングについて、提供サービス実現後の流れを示す。

- ① 定期的に O/O データの更新を実施する。
- ② 民生 SSA プラットフォームセンサで定常的に観測を行う。
- ③ 軌道情報を算出し、衛星運用組織が想定した軌道範囲外に逸脱していないか確認する。
- ④ 必要に応じ衛星運用組織にアラートが通知される。

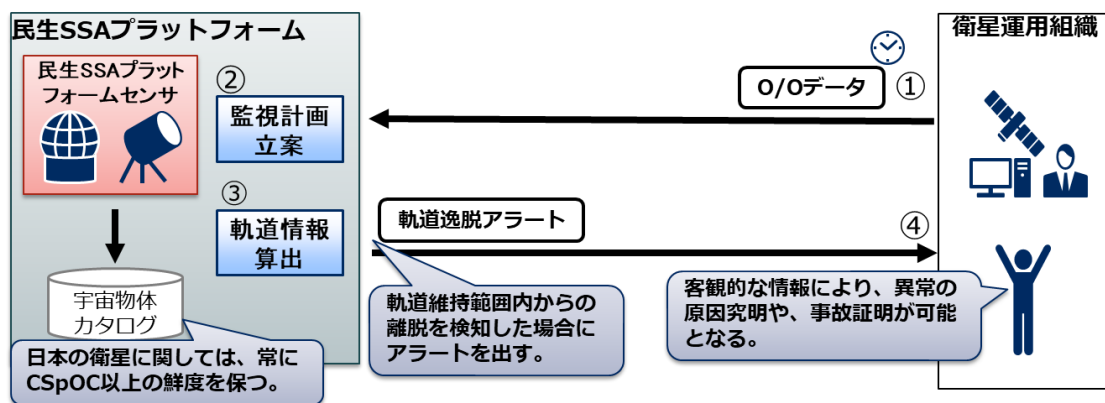


図 2-44 CDM 受領時における回避計画立案の流れ（サービス実現後）

出所) NEC 作成

上記、④について試作結果を示す。

④ 軌道範囲外アラートの通知

衛星運用組織から定期的に更新される O/O データに合わせて、民生 SSA プラットフォームにおいて、定期的に観測した結果得られるデータを用いて算出した軌道情報から、軌道範囲外に逸脱している可能性が認められた場合、必要に応じ、図 2-45 に示すアラートが送信される。また、運用者は WEB 画面において、情報の確認を行うことができる。

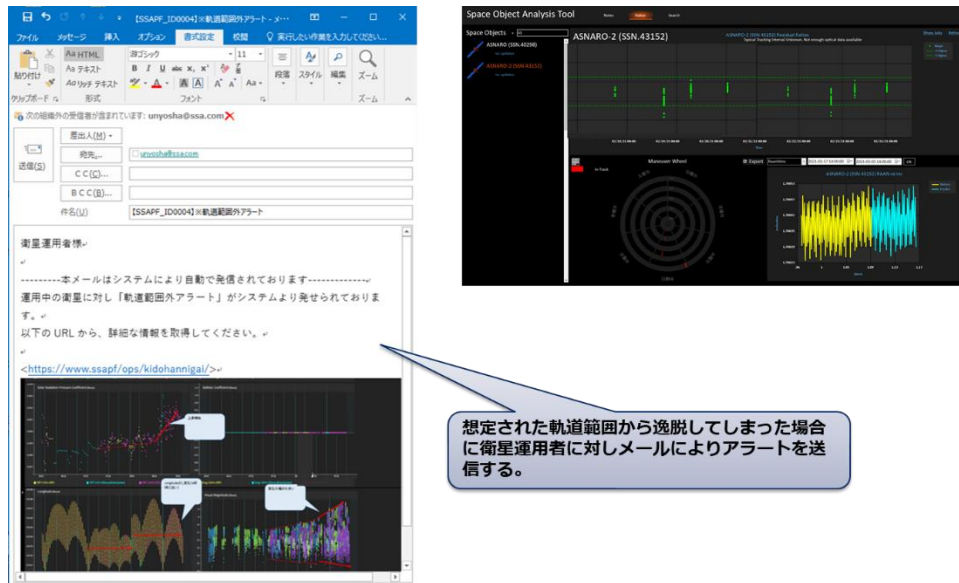


図 2-45 メールにおける軌道逸脱アラートイメージ（左）と WEB 画面における SSA 情報の確認イメージ（右）

出所) NEC 作成

(2) 富士通による試作結果

本検討のコンセプトである「データの信頼度の見える化」を実現するために、ユーザが制御等を判断する各データの評価結果をわかりやすく表示するシステムを試作した。

具体的には、軌道決定からの経過日数、軌道源泉の配信日、Owner/Operators（O/Os）データであるか、共分散の有無、データ取得元など、付加データを各軌道情報に関連付けることで軌道情報の信頼度を評価する。これら使用するデータの評価が確認できるような表示方法を採用した接近解析機能を試作対象とした。

図 2-46 に接近解析機能の概要を示す。

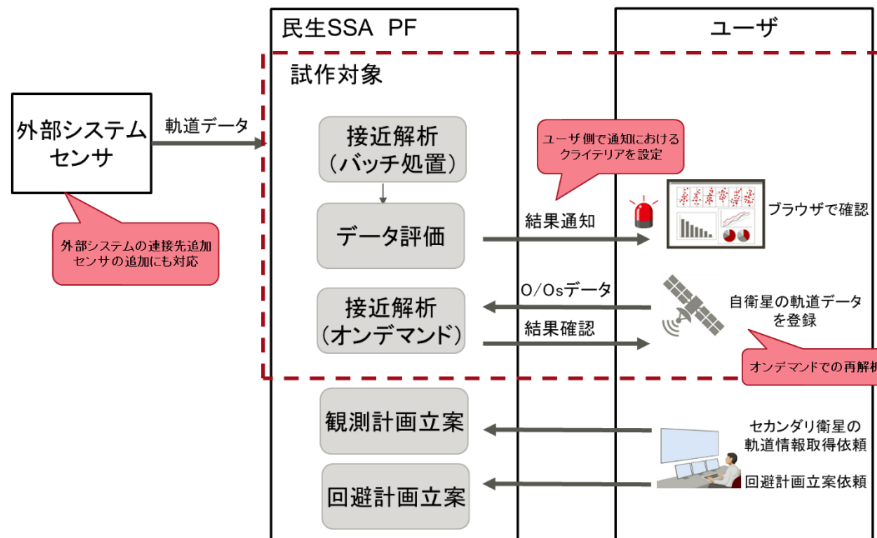


図 2-46 接近解析機能の概要

出所) 富士通作成

試作結果である、イベント一覧を表示する画面を図 2-47 に示す。センサや外部システムから得られたデータに対して、民生SSAプラットフォームにおいて接近解析をすることで、起こる可能性があるイベントを一覧とする。また、この際、右側には天球上に起こりうる位置、確率、最接近距離等がわかるように図示することで可視化している。



図 2-47 イベント一覧画面表示

出所) 富士通作成

同様に、試作結果である接近解析画面を図 2-48 に示す。この画面においては、接近解析に使用した軌道情報の評価を行うことで、どの軌道の組合せが妥当かを可視化している。あわせて、軌道に関する付加情報や誤差範囲に関しても可視化を実施している。

また、CDM 発行時も評価されたものにクライテリアを設けることでスクリーニングとしても機能する。

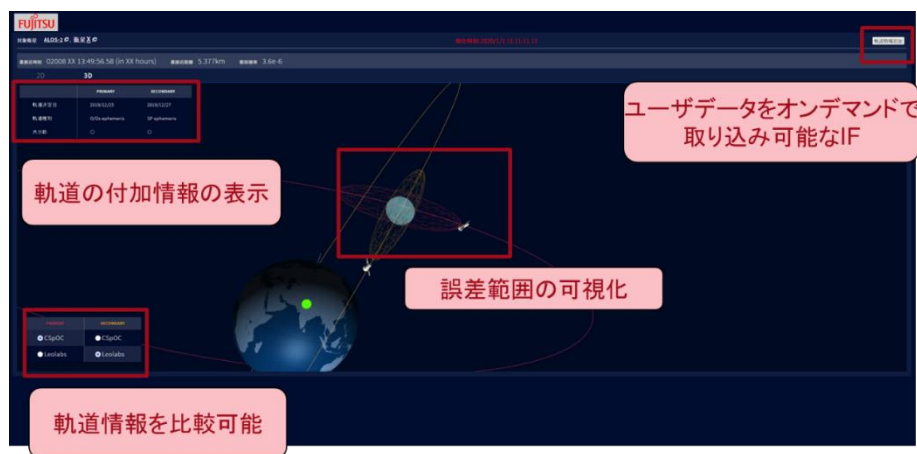


図 2-48 接近解析画面表示

出所) 富士通作成

(3) 評価

1) 検討会委員の意見等

試作結果を第 2 回検討委員会にて報告し、委員による評価を受けた。以下に委員からのコ

メントおよび設計側の回答を記載する。

- 委員:富士通と NEC の提案は、入手する複数の情報の中で最も確からしいものを取捨選択して、ユーザに提供するものと認識した。そのような設計にした理由は何か。
 - 富士通:システム内で評価して、一定のクライテリアを超えたものを CDM としてユーザに通知することを検討している。複数の軌道情報を提供して比較可能な UI となっている。
 - NEC:複数のソースに基づく解析結果を、諸元も含めてそれぞれ表示するようにしている。
- 委員:NEC の検討している回避計画立案支援サービスについて、いつどのようなマヌーバをするべきという情報を提供するのか、あるいは特定のマヌーバをすればこのような結果になるという情報を提供するのか、どちらを想定しているのかお聞きたい。また同サービスは、衝突回避以外の通常の軌道修正時にも利用可能との印象を持ったがその理解は正しいか。最後に、数回にわたる一連のマヌーバプランをシステムにインプットできるようにするとよい。
 - NEC:回避計画立案支援サービスは、衛星運用のノウハウを有するユーザを対象としており、マヌーバした結果の情報の提供を想定している。一方で、Safety of Flight サービスにおいては、いつマヌーバをするべきかの計画の提案や、CDM の危険度を判断するサービスを提供することを検討している。回避計画立案支援サービスはご理解の通り、通常の計画的なマヌーバにも利用可能であり、また、複数回のマヌーバへの対応も技術的には可能である。
- 委員:NEC に対する質問として、太陽同期軌道の場合にはセンサは 1 日 1 回しかデータを取れないと思われる。要求を満たすにはどの程度のセンサが必要なのか。
 - NEC:2 点目について、JAXA や防衛省のセンサを使ってデータを 1 日 2 回取り、新たに設置するセンサも同程度の観測回数を想定する場合、1 日 4 回データを取れる。4 回分のデータがあれば、精密な軌道決定が可能だと考えている。
 - 委員:本国内でセンサ配置する場合、太陽同期軌道では観測に 8 時間程度の間がある。その場合でも精度は担保されるのか。
 - NEC:現実的な解として、観測に間が空いたとしても、鮮度を把握できているデータがあることが重要だと考えている。
- 委員:今回のプラットフォームを作る際にはどの部分にお金がかかるのか。オンデマンド対応を取り入れる場合、それなりの規模になることが見込まれる。
 - 富士通; JAXA のカタログ数を 10 万物体という前提で考えると、カタログの保持や接近解析等を実施する計算機に費用がかかると見られる。機能の構築については、防衛省のモジュールを利用すれば費用を抑えられるが、基盤部分にはある程度の費用がかかる。
 - NEC: COTS を組み合わせて実現できることも多いと考えている。また、プラットフォームに必要な機能やデータのクセ等を加味した作りこみが必要になる。独自センサについては、システム導入時に初期費用がかかると考えている。
 - 委員:センサとコンピュータを比較すると、センサの方に費用がかかるという認識でよいのか。

- NEC:その通りである。
- 委員:プラットフォームと民間オペレータのデータのやり取りについて、民間オペレータの軌道計画に基づいた軌道予測にはシステム間の誤差が生じる可能性があるが、どのように誤差を考慮しているのか。また、近年は電気推進の衛星が増えて、ほぼ毎日マヌーバを行う衛星も増えており、複数のマヌーバをインプットできるようになるとよい。
 - NEC:システムの誤差を調整するのは難しいため、計算に利用したシステムの情報をユーザに提供することが重要だと考えている。定常的にマヌーバする衛星については、オーナー・オペレーション・データを評価して使うことになると言われている。こうしたデータの信頼性を把握したうえで、利用することが重要だと考えている。
 - 富士通:ユーザ側で各諸元のものを比較して利用するものになると考えている。

2) 評価結果

試作結果に対して委員からの意見は全般、高評価であった。

自身の利用を想定した情報の提供タイミングや精度などの利用にあたっての具体的な確認や、システムの実現のためのセンサの必要数などのシステム構成への確認も実施され、実運用を想定した意見・評価がされた。さらに、マヌーバプランのシステムに対するインプットなどのプラットフォームの発展につながる提案もあがり、さらなる利便性向上に向けた示唆を得ることができた。

また、プラットフォーム構築の際の費用やオンデマンドに対応した場合の費用対効果に対する意見もあり、今後のシステムの基本設計、詳細設計へ向けた検討材料となった。

3. 民生 SSA プラットフォームの構想案

3.1 構想案検討の前提の整理

本調査では、SSA プラットフォームユーザに対するニーズ調査（A パート）と既存の SSA データ・サービス提供システムおよびニーズ調査結果とのギャップ分析（B パート）を行うとともに、これらの結果を踏まえて概念検討およびサービスの試作（C パート）を行った。

A パートでは、衛星運用事業者（静止軌道、低軌道）、打上げ事業者、軌道上サービス提供事業者等を対象に、SSA データ・サービスについてのニーズ調査を行った。さらにニーズ調査の結果を基に、ユーザが求めるサービスの整理を行った。

B パートでは、CSpOC に代表される既存の SSA データ提供サービスの調査を行った。加えて、A パートでまとめたユーザが求めるサービスを実現するために必要なデータ要件を整理するとともに、既存の SSA データ提供サービスとのギャップを分析した。

C パートでは、A パートでまとめたユーザが求めるサービスを出発点とし、そのサービスを実現するプラットフォームについて、2 社独立で概念検討を行うとともに、いくつかのサービスの試作を行った。

以下に各パートの Findings およびプラットフォーム構想案との関係を整理する。

3.1.1 A パートの Finding : プラットフォームのユーザ

A パートでは、プラットフォームのユーザを以下の 7 区分と整理し、ニーズ調査を行った。プラットフォームの構想案検討においても、本区分を踏襲する。ただし、後段の検討においては、静止衛星および低軌道衛星の衛星運用事業者と大学をまとめて、衛星運用事業者として整理する。

- **衛星運用事業者（静止軌道衛星）**
既に静止軌道で衛星運用を行っている、または行う予定の事業者（例：スカパーJSAT、B-SAT、HOPE、等）
- **衛星運用事業者（低軌道衛星）**
既に低軌道で衛星運用を行っている、または行う予定の事業者（例：NEC、パスコ、アクセルスペース、等）
- **打上げサービス事業者**
静止軌道や低軌道へ衛星を打上げるサービスを提供している、または提供予定の事業者（例：三菱重工、IHI エアロスペース、SpaceOne、等）
- **付加価値事業者**
SSA データ情報を用いて解析を行い、付加価値を提供する事業者、宇宙保険事業者（例：東京日動火災保険、等）、民間 SSA 事業者（Leolab、等）
- **軌道上サービス事業者**
軌道上で各種サービス（例：デブリ除去、衛星燃料補給、軌道上実験、等）を提供する、または提供する予定の事業者（例：アストロスケール、等）
- **大学等**

主に低軌道で小型衛星の運用を行っている、または今後行う予定の大学(九工大、東大、北大、等)

- **海外ユーザ**

静止軌道や低軌道での衛星運用を行っている、または今後行う予定の宇宙機関や民間企業（例：東南アジアの宇宙機関、衛星通信会社、等）

3.1.2 B パートの Finding：ユーザニーズと既存サービスとのギャップ

B パートでは、既存の SSA サービス提供システムの調査を行うとともに、世界的に最も利用されている CSpOC が提供しているデータとユーザ要求を満たすためのデータ要件とのギャップ分析を行った。ギャップ分析にあたっては、CSpOC が基本サービス（Basic）、緊急サービス（Emergency）、高度なサービス（Advanced）の 3 種類のサービスがあるが、ユーザによって利用しているサービスのレベルが異なることから 3 種類とも分析の対象とした。

分析の結果、ユーザ要求とのギャップが生じている原因は、大きく（1）観測センサの性能、（2）データの更新タイミングが不定期であること、（3）衛星マヌーバの情報が反映されるまでタイムラグが生じること、（4）そもそも CSpOC が提供していないデータを求めていること、の 4 点に集約された。

ただし、これらは軌道上のあらゆる物体を観測し、無料で世界に提供している CSpOC の役割を踏まえると、CSpOC に求めるべき内容ではないと考えられ、まさに民生プラットフォームが提供すべきデータ・サービスであると考えられた。

プラットフォームの構想案検討においてもこの考え方を踏襲する。

3.1.3 C パートの Finding：システムコンセプトと試作サービス

C パートでは、富士通と NEC の 2 社で並行して SSA プラットフォームの概念検討および試作を行った。両社の設計コンセプトは以下のとおりである。

- **富士通のコンセプト**

- ユーザが判断する際に使用するデータの信頼度の見える化をし、運用負荷を軽減すること

- **NEC のコンセプト**

- 軌道情報の鮮度を高く保つことによる、正確性の高い解析結果の提供
- ユーザ の能力に応じたサービスの提供
- 衛星運用経験 /SSA 運用経験から導き出された必要なサービスの提供

また、両社が試作したサービスは以下のとおりである。

- 使用するデータの信頼度が確認可能な接近解析機能（富士通）
- 独自センサによる鮮度の高い観測データを用いたスクリーニング（NEC）
- マヌーバを考慮した回避計画立案支援（NEC）
- 対象衛星のモニタリングサービス（NEC）

両社の概念検討および試作において共通した特徴・注目点としては、両社とも CDM の検証作業の負荷が高いことに着目しており、信頼度や鮮度の高いデータを提供することで対応することを目指していること、そして、「CSpOC」が提供しているような基盤的なサービスに加え、「CSpOC + α 」ともいうべき付加価値の高い、補完的なサービスの提供を目指していることが挙げられる。

プラットフォームの構想案の検討においても、この基盤的なサービスを補完すること、ユーザ側の負荷を減らすサービスを提供すること、の2点の考え方を踏襲する。

3.2 民生 SSA プラットフォームが保有する独自センサの検討

CSpOC からの接近解析結果等の正確性を向上すべきというユーザからの要望に応えるためには、オンデマンド観測によるサービスの向上が重要な要素となる。そこで、本プラットフォーム独自でオンデマンド観測を可能とするセンサについて検討を行った。なお、検討対象としたオンデマンド観測センサは、天候に左右されず、かつ観測時間に制限がないことが求められるという要件を重視し、レーダを前提として検討した。以下に検討対象としたレーダ種別を示す。

- **フェンス型レーダ**
未カタログ物体の情報取得に適しており、CSpOC からのカタログ情報等、先見情報が得られない場合は効果を発揮する。
- **ISAR レーダ**
物体の形状の把握に適したレーダである。ただし、我が国においての運用実績がなく、位置情報の正確性向上への寄与は限定的と思われる。
- **追尾レーダ**
任意の物体を捕捉、追尾することに優れている。目標を継続的に観測することで、位置情報の正確性を向上させることができる。

プラットフォームの独自センサの役割を踏まえると、追尾レーダがプラットフォームのオンデマンドセンサとしては適切と考えられる。

また、天候に影響されない点、観測時間に制限がない点以外でオンデマンド観測センサに求められる能力は以下のとおりである。

- **複数同時観測への対応**
日本の衛星の軌道鮮度を維持しつつ、接近事象に対応するため、少なくともプライマリ・センサダリそれぞれ2つ、計4つ以上の同時観測を行える必要がある。
- **探知能力**
日本の衛星の軌道鮮度を維持するためには、少なくとも3U以上の物体を観測できる能力が必要である。
- **CSpOC が持つ不確定性への対応**
今後増加が予想される小型の宇宙機や、既に存在するデブリに関して先見情報となる CSpOC が不確定性をカバーできる覆域が必要である。

- **我が国の技術的優位性**

新興国等が、独自の SSA システム構築を計画した際の日本からの技術移転を視野に入れ、新興国単体では実現できない技術要素を持ったセンサとその運用システムを選定することにより、本プラットフォームの海外技術移転も可能となる。

- **拡張性**

宇宙環境の変化に伴い、将来、センサ能力増強（同時観測数、探知能力等）が必要となった際の拡張の容易性が必要である。

以上の整理結果を基に、3 種類の追尾レーダを検討した。具体的には大型 APA 方式レーダ、小型 APA 方式レーダ、そしてパラボラ式レーダである。3 種類のレーダを比較検討した結果を表 3-1 に示す。

大型 APA 方式レーダは微小なデブリ（直径 10cm 級）まで含めたオンデマンド観測要求に対応可能である。また、電子走査により同時に多数の目標を探知、追尾することができることから、同時に極めて多数のオンデマンド観測要求に対応することも可能である。一方で、当然のことながらコストは高くなる。

小型 APA 方式レーダは能力的には大型 APA 方式レーダには劣るものの、直径 30cm 級の物体を観測可能であり、また電子走査により同時に複数の目標を探知、追尾することが可能である。コストは大型 APA 方式よりは安価となる。

パラボラ式レーダは最も安価となるが、観測能力は直径 50cm 級の物体に留まり、また、複数物体の同時観測は不可能となる。

以上の検討結果より、プラットフォームが保有する独自センサとしては、小型 APA 方式レーダが適していると結論付けた。

なお、前述のように本検討ではレーダを前提として検討を行ったが、光学観測システムを組み合わせる方法も考えられる。現在研究中のシステムとしては、例えば防衛装備庁の安全保障技術研究推進制度の支援を受けて実施している低軌道デブリ地上光学観測システムがある¹⁴。同システムの概要を以下に示す。

- **特徴**

- 天候の安定した東オーストラリアにフェンスサーチ局を設置。
- 市販で入手可能な最大サイズ（35～40cm 級）の鏡筒を複数台使用
- センサは高感度な CMOS センサを利用する。
- 観測可能時間帯 LEO 一日 4 時間程度（朝、夕）
- 観測等級 15 等級、10cm 以下のデブリも観測可能となる。
- 処理方式：重ね合わせ方（日本独自方式）
- 追跡局を西オーストラリア、日本国内（北海道）に設置し、追跡観測し軌道決定の精度を上げることが可能となる。

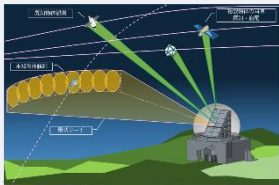
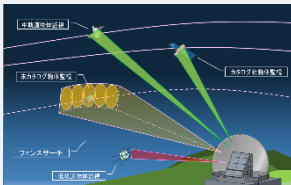
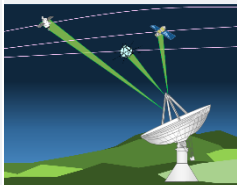
- **拡張性**

- 深夜帯は望遠鏡の方向を変え GEO を捉えることが可能である。
- 複数の小型望遠鏡の画像を合成し、大型望遠鏡並みの高解像度画像を取得する事

¹⁴ 雑音画像中の低輝度移動物体高速自動検出技術の開発

が可能である。

表 3-1 検討対象とした追尾レーダの種別と特徴

	大型 APA 方式レーダ	小型 APA 方式レーダ	パラボラ式レーダ
概要	微小なデブリまで含めたオンデマンド観測要求に対応可能。同時に極めて多数のオンデマンド要求に対応可能。	超小型衛星まで含めたオンデマンド観測要求に対応可能。同時に複数のオンデマンド要求に対応可能。	超小型衛星以上を対象とするオンデマンド観測要求に対応可能。オンデマンド要求に対応可能。(同時対応不可)
外観			
同時観測目標数	電子走査により、同時に多数の小目標を探知、追尾することができる。	電子走査により、同時に複数の目標を探知、追尾することができる。	パラボラ空中線を対象に指向しながら、単一目標を追尾することができる。
	数十	十程度	1
探知能力 (低軌道)	直径 10cm 級の物体	直径 30 cm級の物体	直径 50cm 級の物体
CSpOC が持つ 不確定性への対応	高	中	低
技術優位性	高	高	低
拡張性	高	高	低
整備費規模比	1	0.4	0.2

出所) NEC 作成

3.3 SSA サービスの市場規模

SSA プラットフォームの検討にあたっては、ビジネスとしての潜在力を把握しておく必要がある。本調査では、民生 SSA プラットフォームの市場規模を把握するため、GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS,INC. が発行する「SPACE SITUATIONAL AWARENESS (SSA) Global Market Trajectory & Analytics」を基に、SSA サービスの市場規模を整理した。同レポートは、2020 年から 2027 年までの SSA サービスの世界の市場規模予測（日本単独の市場規模含む）を行っている。

同レポートでは SSA サービス市場は以下5つのセグメントを含んでいると定義している。

- 断片化デブリセグメント（Fragmentation Debris Segment）：
意図せず発生した断片化宇宙物体に関連する市場
- 非機能宇宙物体セグメント（Non-Functional Spacecrafts Segment）：
機能していない宇宙物体に関連する市場
- ロケット本体セグメント（Rocket Bodies Segment）：
ロケットステージやロケット本体に関連する市場
- 機能宇宙物体セグメント（Functional Spacecrafts Segment）：
運用中の宇宙物体に関連する市場
- その他物体セグメント（Other Objects Segment）：
上記以外の物体に関連する市場

3.3.1 世界の SSA の市場規模

世界の SSA の市場規模については、7つの地域（米国、カナダ、日本、中国、欧州、アジア太平洋、その他）に区分した市場規模がまとめられている。欧州、アジア太平洋、その他は複数国が含まれているカテゴリであるが、具体的な国・地域は以下のとおりである。

- 欧州：
オーストリア、ベルギー、ブルガリア、チェコ共和国、デンマーク、フィンランド、イギリス、フランス、ドイツ、ギリシャ、ハンガリー、アイルランド、イタリア、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、ルーマニア、ロシア、スロバキア、スペイン、スウェーデン、スイス、オランダ、トルコ
- アジア太平洋：
オーストラリア、香港、インド、インドネシア、マレーシア、ニュージーランド、フィリピン、シンガポール、韓国、台湾、タイ
- その他：
ラテンアメリカ、中東、アフリカ

2020 年から 2027 年における世界の SSA の市場規模推移予測を表 3-2 に示す。2020 年の市場規模は 11 億米ドルとされているが、2027 年までには 15 億米ドルに達すると予測されている。年平均成長率（CAGR）は 4%である。国・地域別でみると、米国は SSA 市場における最大の地域市場であり、2020 年には全世界の 47.5%のシェアを占めている。このシェアは各セグメント別（断片化デブリ、非機能宇宙物体等の分類）でも同様の傾向を示しており、今後も SSA 市場を牽引する地域であると考えられる。また、中国は成長を先導し最も

急速に成長する地域市場と述べられており、2020 年から 2027 年の予測対象期間において 5.7%の年平均成長率（CAGR）となると予想されている。この高い成長率により 2027 年には欧州に次ぎ、全市場の 10%を占める地域市場に成長すると予想されている。

表 3-2 世界の SSA 市場規模推移予測（2020 年～2027 年）

単位：1000\$

地域	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR (%)
米国	541,476	555,534	574,228	596,304	621,345	648,806	676,547	703,369	3.8
カナダ	20,902	21,506	22,226	23,022	23,899	24,829	25,764	26,665	3.5
日本	54,377	55,672	57,301	59,165	61,270	63,566	65,874	68,095	3.3
中国	96,136	100,172	105,269	111,279	118,219	125,977	133,982	141,888	5.7
欧州	268,218	274,752	83,501	293,977	305,957	319,091	332,357	345,188	3.7
アジア 太平洋	71,301	73,548	76,682	80,576	85,252	90,555	96,010	101,375	5.2
その他	88,252	90,621	93,875	97,823	102,438	107,526	112,700	117,737	4.2
総計	1,140,662	1,171,806	1,213,091	1,262,145	1,318,379	1,380,349	1,444,234	1,504,315	4.0

CAGR：compound average growth rate 年平均成長率

出所）GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS,INC. “SPACE SITUATIONAL AWARENESS (SSA) Global Market Trajectory & Analytics” を基に三菱総合研究所作成

3.3.2 日本の SSA の市場規模

日本の SSA 市場規模については、セグメント別（断片化デブリ、非機能宇宙物体等の分類）と政府・防衛市場および商用市場別の 2 つのパターンで市場規模がまとめられている。

2020 年から 2027 年におけるセグメント別の市場規模予測を表 3-3 に示す。2020 年時点では 5,440 万米ドル（約 58 億円）とされる市場規模は、2027 年までに 6,810 万米ドル（約 73 億円）に達するものと予測されている。特に断片化デブリ市場は、2020 年の推定 36 百万ドル（38 億円）から 2027 年には 45.8 百万ドル（49 億円）に達すると予測されており、最も急成長するセグメントとなっている。断片化デブリは米国が管理する軌道上宇宙物体カタログの 55%以上を占めることから、世界市場でも同様の傾向（約 60%の市場シェア）であり、今後国内外での成長市場セグメントと考えられる。

表 3-3 日本の SSA 市場規模推移予測（2020 年～2027 年）

単位：1000\$

セグメント	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR (%)
断片化デブリ セグメント	35,981	36,903	38,067	39,400	40,908	42,558	44,221	45,823	3.5
非機能宇宙物 体セグメント	6,105	6,235	6,397	6,583	6,792	7,018	7,245	7,463	2.9
ロケット本体 セグメント	4,843	4,843	5,098	5,260	5,443	5,641	5,841	6,032	3.2
機能宇宙物体 セグメント	3,396	3,356	3,527	3,610	3,702	3,801	3,900	3,994	2.3
その他物体セ グメント	4,052	4,123	4,212	4,313	4,425	4,547	4,668	4,783	2.4
総計	54,377	55,672	57,301	59,165	61,269	63,566	65,874	68,095	3.3

CAGR：compound average growth rate 年平均成長率

出所) GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS, INC. “SPACE SITUATIONAL AWARENESS (SSA) Global Market Trajectory & Analytics” を基に三菱総合研究所作成

2020 年から 2027 年までの SSA に関する政府・防衛市場および商用市場の推移予測を表 3-4 に示す。政府・防衛関連の市場は 2020 年の SSA サービス市場の 77.7% を占めている。また、政府・防衛関連の市場は、2020 年の推定 4,220 万ドル（約 45 億円）から、2027 年には 5,230 万ドル（約 56 億円）に達すると予測されている。他方で商業関連市場は、2020 年から 2027 年までに 3.8% の年間成長率で急成長すると予測されている。

表 3-4 日本の SSA の政府・防衛関連市場と商用関連市場の推移予測（2020 年～2027 年）

単位：1000\$

セグメント	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR (%)
政府・防衛	42,240	43,199	44,404	45,701	47,333	49,022	50,719	52,247	3.1
商業	12,137	12,473	12,897	13,385	13,937	14,544	15,156	15,746	3.8
総計	54,377	55,672	57,301	59,165	61,270	63,566	65,874	68,095	3.3

CAGR：compound average growth rate 年平均成長率

出所) GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS, INC. “SPACE SITUATIONAL AWARENESS (SSA) Global Market Trajectory & Analytics” を基に三菱総合研究所作成

3.4 民生 SSA プラットフォームの構想案

メガコンステレーションに代表されるように、宇宙空間の混雑は右肩上がりに進んでおり、SSA の重要性は高まっている。また、スタートアップの参入増加により、低軌道衛星運用事業者や打上げ事業者も増加し、従来の SSA データのメインユーザであった静止衛星運用事業者だけでなく、これらの新しいユーザの出現が見込まれている。さらに、軌道上サービスなど新たなビジネスも生まれてきており、これらを実施する事業者も SSA ユーザとなることが見込まれている。

3.1 節で再整理したように、本調査では、これらの既存ユーザおよび新規ユーザに対してニーズ調査を行うとともに、CSpOC に代表される既存の SSA データ提供サービスの調査を行った。さらに、両者のギャップを分析したところ、ユーザの求めるサービスと既存のシステムで提供されているデータ・サービスとの間にギャップがあることが明らかになった。特に新たなユーザは、従来のユーザと比較して SSA データになじみがないこともあり、よりユーザに寄り添ったサービスの提供が必要と想定された。なお、CSpOC は全世界の基盤的なデータとして利用されており、このデータを利用しなくなることは想定されないが、CSpOC 以上のサービスを提供するプラットフォーム構築することで上述のギャップを埋めることはユーザのニーズにかなうものと考ええる。

また、3.2 節で述べたように、ユーザの要求を満たす手段として、オンデマンド観測を可能とする独自センサの検討を行い、小型 APA 方式レーダを候補とした。

また、3.3 節で述べたように、SSA の市場は今後、右肩上がりの成長が予測されており、上述のプラットフォームはその市場の一部を獲得できることが期待される。

3.4.1 プラットフォームのコンセプト

CSpOC 等の基盤的なシステムは、全ユーザに公平な SSA サービスを提供することが役割であり、個別ユーザに応じたきめ細やかな対応は困難である。また、その果たしている役割から個別ニーズへの対応を行うことは非現実的である。一方で、ユーザ側としてはきめ細やかなサービスを求めている。

そこで、本 SSA プラットフォームのコンセプトは以下の 3 点とした。特に、ユーザのニーズが高く、かつ運用負荷を軽減するサービスの提供に注力するとともに、専門知識やサービスを受けるための協定締結といったハードルを可能な限り除去し、ユーザが使いやすく、かつユーザの役に立つシステムを志向することとした。

- 基盤的な SSA サービスのみでは充足されないユーザニーズに応える、補完的かつ高付加価値なサービスを提供するプラットフォーム
- 今後、増加する新たな SSA データユーザも利用しやすい形でのサービスを提供するプラットフォーム
- サービスの実現のため、他の SSA サービスとの連携により入手したデータや独自センサによる観測データも積極的に活用し、新規事業者の参入も促進するプラットフォーム

以上の民生 SSA プラットフォームのコンセプトを図 3-1 に整理する。

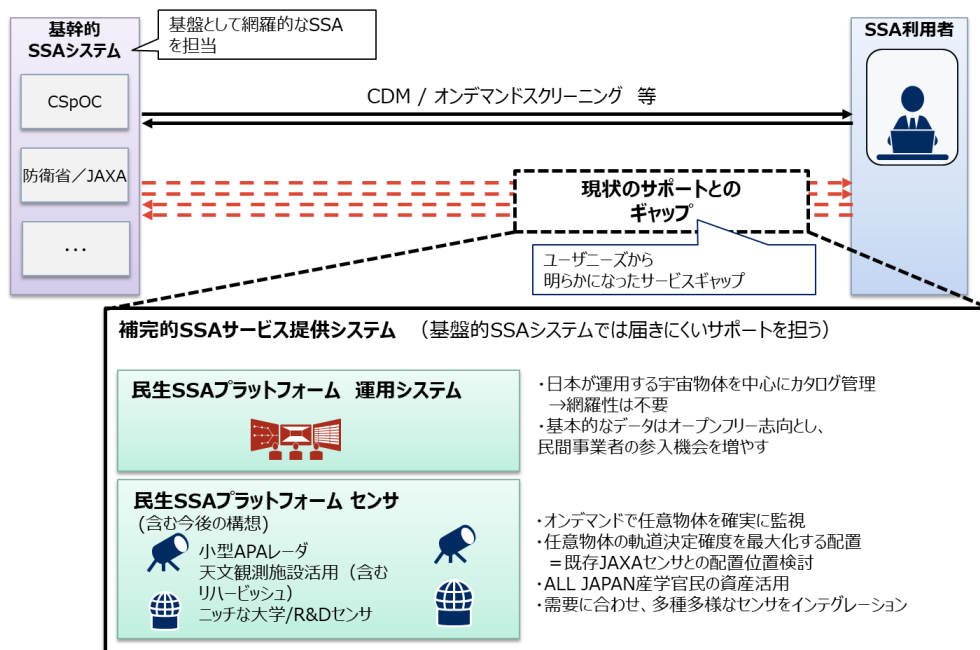


図 3-1 民生 SSA プラットフォームのコンセプト

出所) 三菱総合研究所作成

3.4.2 プラットフォームのサービス

SSA プラットフォームが提供するサービスは概念検討結果を踏襲し、表 3-5 に示す 17 のサービスとした。また、プラットフォームのサービス対象としては、既存の SSA ユーザーである衛星運用事業者（静止軌道、低軌道）および打上げサービス事業者に加え、大学、付加価値事業者、軌道上サービス事業者、東南アジアユーザ等も対象とした。提供サービスとユーザとの関係の整理結果を図 3-2 に示す。

表 3-5 プラットフォームの提供サービス

	サービス名	概要
1	打上時接近解析	打上げ計画に基づいて打上げ日時を解析するとともに、打上げ直後の適時性を持った接近解析結果及びCDMを提供する。
2	ローンチウィンドウ解析	ローンチウィンドウ情報の算出を行う。
3	軌道情報提供	希望する物体の軌道情報（軌道暦、TLE等）を提供する。
4	衛星運用時接近解析	独自に接近解析するために、クライアント物体のタンプリングレートを提供する。
5	スクリーニング	高精度なオンデマンドスクリーニング結果を提供する。日本の官民が運用／所有する衛星に関してはスクリーニングの優先度を上げる。
6	CDM発行	日本が運用／保有する衛星に対して優先的に高精度で適時性を持った接近解析結果及びCDMを発行する。
7	回避計画立案支援機能	運用計画の立案を支援する。具体的にはΔVの計画を提案し、ユーザの利便性を高める。
8	再突入解析	地球の大気圏に突入する物体の正確な再突入位置と時間を予測する。
9	軌道離脱・廃棄運用支援	運用が終了した衛星を廃棄するため、軌道を離脱させるため、軌道離脱・廃棄運用計画の立案を代行する。またその間の衝突解析も実施する。
10	宇宙天気情報提供	衛星運用時に支障が出た時、衛星異常事象発生後の故障解析を行う時又は測位精度劣化時の電離層擾乱状況を確認する時に必要な宇宙天気情報を提供する。
11	衛星モニタリングサービス	故障や経年劣化を把握するための各種外観情報を提供する。
12	観測情報提供	要求に応じて衛星の状況を撮像した画像を提供する。
13	他のデータベース情報の提供	入力データの充実とデータフュージョンを図り、利用者に提供する情報の精度を高める。
14	その他情報提供	SSAに関連する各種情報を提供する。
15	打上申請支援	現状より短期間（1か月程度）での許認可を実現するための支援サービスを提供する。
16	SOF支援	SOFのための各種支援サービスを提供する。
17	衛星コンステレーション管理	衛星コンステレーション運用者を支援する。

出所) 三菱総合研究所作成

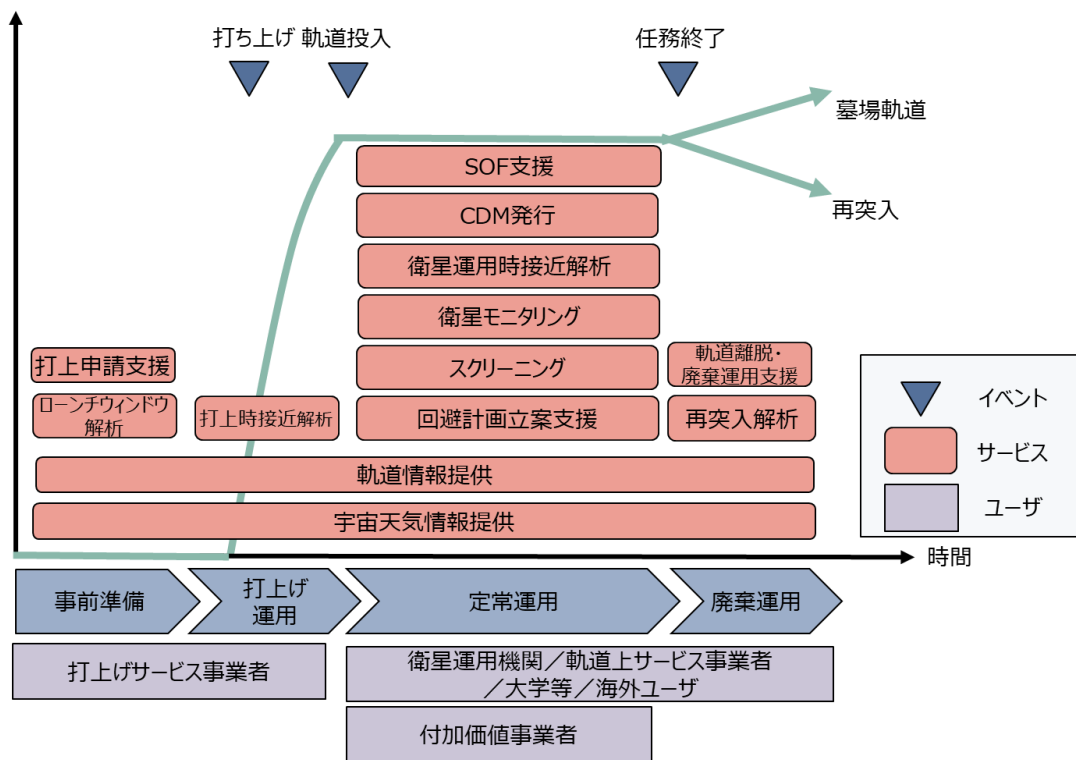


図 3-2 提供サービスとユーザの関係

出所) 三菱総合研究所作成

3.4.3 プラットフォームの実現イメージ

現状の我が国の SSA を取りまく状況を図 3-3 に、前述の検討結果に基づき、国のシステムと連携し、各ユーザに対して補完的かつきめ細やかなサービスを提供するプラットフォームの実現イメージを図 3-4 に示す。

現状は限定的なユーザが SSA データを利用しているにとどまっている状況である。一方、民生 SSA プラットフォームは、国内外の既存あるいは開発中のシステムや LeoLab 等の民間事業者、そして独自センサから情報を入手し、解析を行い、様々なユーザに対してサービスを提供する。既存ユーザである衛星運用事業者はこれまで通り CSpOC 等の国の基盤的なサービスの利用は継続しつつ、軌道情報を提供することによりプラットフォームから信頼度の高い接近解析結果等の高付加価値情報を受領する。また、大学や東南アジアユーザもプラットフォームからより分かりやすい形で情報を受け取る。打上げ事業者も打上げ情報を提供することにより、鮮度の高い情報に基づくローンチウインドウ解析結果を受領する。付加価値事業者や軌道上サービス事業者は、自らの事業に必要な情報をカスタマイズした形でプラットフォームから受け取る。

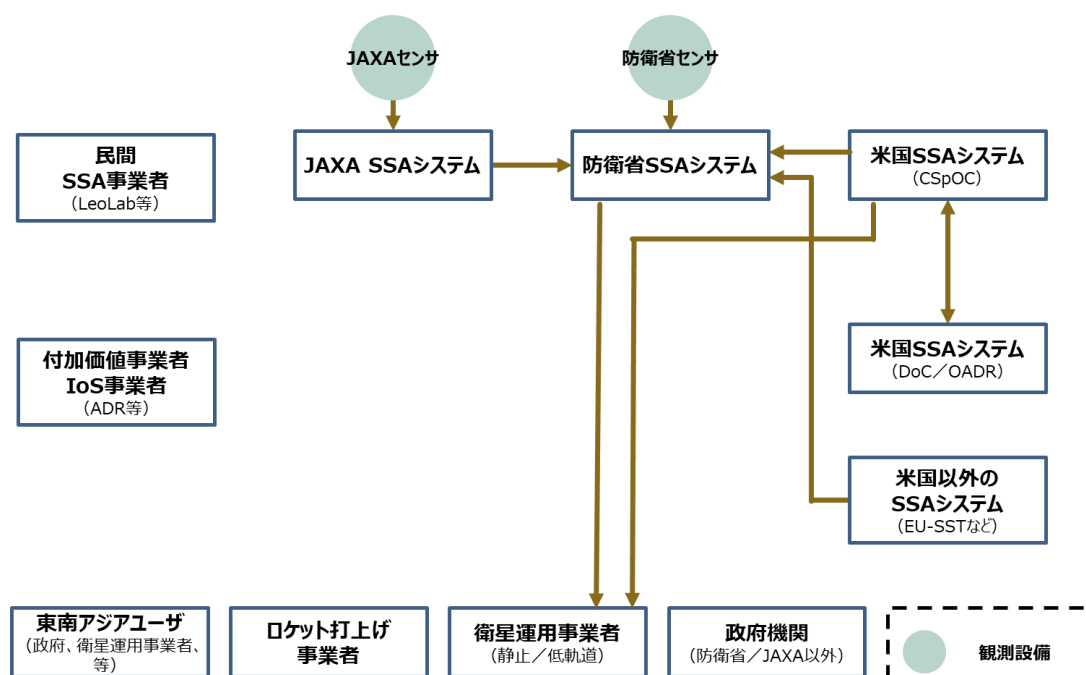


図 3-3 現在の SSA をとりまく状況認識（政府計画等に基づく）

出所) 三菱総合研究所作成

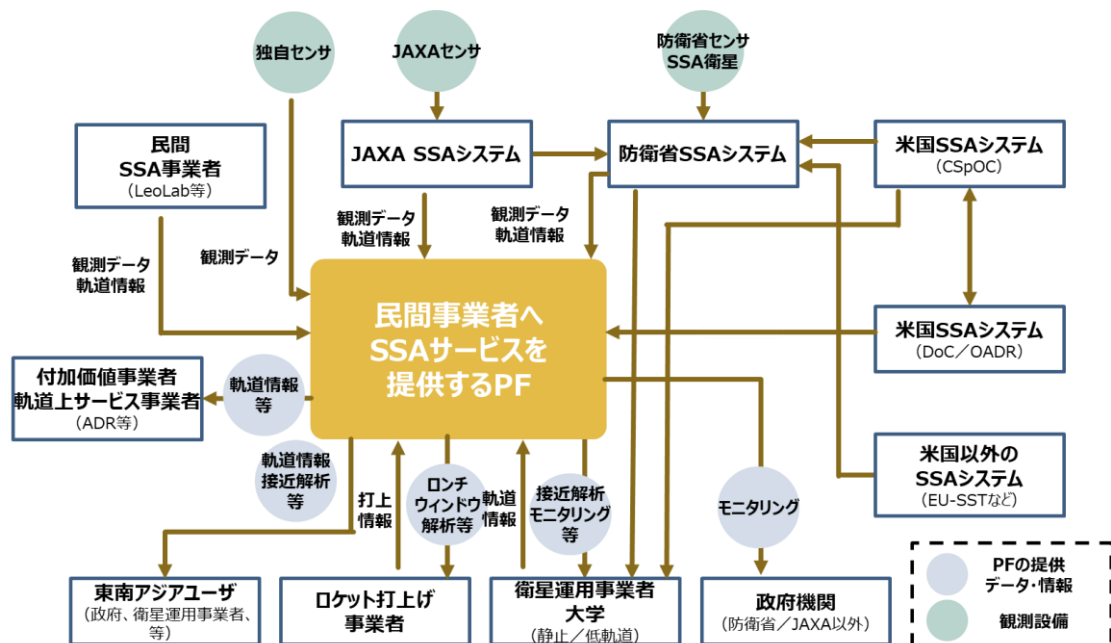


図 3-4 プラットフォームの実現イメージ

出所) 三菱総合研究所作成

なお、本プラットフォームでは、基本的なサービス（CSpOC レベル）は原則無料とし、高付加価値なサービスの提供に対価をえるモデルを想定した。対価の取得方法は様々なオプションが想定される。本調査の段階では基盤的サービスとの役割分担が明確になっていないことから現時点では典型的かつ簡易な事業モデルのオプション例の提示にとどめるが（表 3-6 参照）、今後、本プラットフォームの構築に向けた基本設計、詳細設計等が行われるタイミングで、基盤的サービスとの役割分担を明確にし、改めて事業モデルの検討を行う必要がある。

表 3-6 事業モデルのオプション例

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 (利用可能数に制限なし)	- 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 - 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課題あり	(メリット) - ヘビーユーザの負担が小さくなる。 - 運営側も比較的安定した収入が見込まれる。 (デメリット) - サービスをあまり使わないユーザには負担が大きい。
② 定額提供サービス (利用可能数に制限あり)	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 - 回数ごとのパッケージを準備することも可能	(メリット) - 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。 - 想定利用回数に応じてパッケージの選択も可能。 (デメリット) - 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 - 他の方法に比べて、管理がやや煩雑である。
③ 従量課金サービス (利用ごとの課金)	- 利用量に応じて支払金額が決まるモデル - 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 - 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	(メリット) - 利用に応じて対価を払えばよいため、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。 (デメリット) - 何度もサービスを使うユーザの負担が大きくなる。

出所) 三菱総合研究所作成

4. 有識者検討会

有識者検討会として「民間事業者へ SSA サービスを提供するためのプラットフォーム検討委員会」を設置した。同検討委員会は SSA 専門家、需要者、その他からバランスよく選定し 8 名で構成した。表 4-1 に検討会メンバーを示す。

表 4-1 検討委員会構成メンバー

氏名(敬称略)	所属
青木 節子	慶應義塾大学 法務研究科(法科大学院)教授
泉山 卓	株式会社 IHI 航空・宇宙・防衛事業領域 宇宙開発事業推進部 スタッフグループ 主幹
大島 丈治	気象衛星ひまわり運用事業株式会社 取締役
岡田 光信	株式会社アストロスケールホールディングス 創業者兼 CEO
茶園 英史	スカパーJSAT 株式会社 宇宙・衛星事業本部 宇宙・防衛事業部 技術担当主幹
中村 友哉	株式会社アクセルスペース 代表取締役 CEO
花田 俊也	九州大学 大学院工学研究院 航空宇宙工学部門 教授
平松 敏史	株式会社パスコ 衛星事業部 システム技術部 部長

有識者検討会は期間中に 2 回開催したが、新型コロナの状況を鑑み、いずれもオンラインで開催した。各回のアジェンダを示す。

第 1 回 民間事業者へ SSA サービスを提供するためのプラットフォーム検討委員会

日時：2020 年 10 月 14 日（水） 10:00-12:00

議事：

0) 開会

開会挨拶（経済産業省）、配布資料確認

1) 委員自己紹介

2) 政府における SSA の取組みの全体像（経済産業省）

3) 調査計画（三菱総合研究所）

4) 調査初期結果報告（三菱総合研究所／日本宇宙フォーラム）

・アンケート調査／ヒアリング調査 進捗報告

・SSA データ／サービス提供システム

5) 総合討議

6) その他

第2回 民間事業者へ SSA サービスを提供するためのプラットフォーム検討委員会

日時: 2021 年 3 月 8 日 (月) 15:00-17:00

議事:

0) 開会

配布資料確認

- 1) 政府における SSA の取組みの状況 (経済産業省)
- 2) 調査結果報告 (三菱総合研究所/日本宇宙フォーラム)
 - ・ ニーズ調査結果に基づくサービス要求の整理
 - ・ ユーザニーズと既存サービスとのギャップ分析
- 3) 概念検討および試作結果報告
 - ・ 概念検討および試作の全体像 (三菱総合研究所)
 - ・ 概念検討および試作結果報告 (富士通/NEC)
- 4) プラットフォーム構想案 (三菱総合研究所)
- 5) 総合討議
- 6) その他

5. 民間ステークホルダーへの事業成果の報告会

本事業の調査・検討結果について、民間ステークホルダーへ報告する会合を開催した。

報告会への参加者はアンケート及びヒアリング調査対象企業、有識者検討会参加企業、その他 SSA プラットフォームに関心を有すると想定された企業とした。報告会は3月22日の16:30-18:00 に開催し、以下に示す企業が参加した。

- 三菱重工業株式会社
- 株式会社 IHI エアロスペース
- 準天頂衛星システムサービス株式会社
- スカパーJSAT 株式会社
- 株式会社パスコ
- 日本電気株式会社
- 株式会社アクセルスペース
- 株式会社放送衛星システム
- 株式会社 Synspective
- 東京海上日動火災保険株式会社
- 兼松
- 川崎重工
- キヤノン電子
- ALE

報告会のアジェンダを以下に示す。冒頭に経済産業省殿より政府における SSA の取り組み状況の説明が行われ、その後、三菱総合研究所をはじめとする調査チームから順次、調査結果の報告を行うとともに、報告内容についての質疑応答・意見交換を行った。

日時：2021 年 3 月 22 日（月） 16：30-18：00

議事：

- 1) 政府における SSA の取組みの状況（経済産業省）
- 2) 調査結果報告（三菱総合研究所／日本宇宙フォーラム）
 - ・ ニーズ調査結果
 - ・ 既存サービス調査結果
- 3) 概念検討および試作結果
 - ・ 概念検討および試作結果報告（富士通／NEC）
- 4) フリーディスカッション

6. まとめと今後の課題

6.1 まとめ

スペース・デブリの増加や低軌道コンステレーションの構築の影響により、今後は、従来の SSA サービスの利用者以外にも、現在計画中の小型衛星運用事業者や小型ロケットによる打上げ事業者など様々な事業者が当事者として SSA サービスを利用することが想定される。さらに、諸外国では LeoLabs に代表されるような民間 SSA サービス事業者も登場しており、我が国でもこの情勢をビジネスチャンス捉えた新たな事業者の誕生も期待される。本事業では、政府が構築する SSA システム（基幹システム）が存在することを前提とし、基幹システムを補完するような「民生 SSA プラットフォーム」が構築されることにより、民間事業者の SSA サービスの利用を容易とし、かつ SSA データの流通が促進されることによりビジネスチャンスが創出されるために必要なプラットフォームという位置づけで検討を行った。

本調査は大きく「(1) 民生 SSA プラットフォームに求められる機能と実現性の評価」、「(2) 民生 SSA プラットフォームの構想案検討」、そして「(3) 有識者検討会の運営」、「(4) 民間ステークホルダーへの事業成果の報告会」の 4 つのパートに分かれている。2 章においては「(1) 民生 SSA プラットフォームに求められる機能と実現性の評価」として、「A) ニーズ調査及びサービスの定義」、「B) サービスに必要なデータ入手検討」、「C) 概念検討・試作・評価」の 3 つの調査結果を述べた。3 章においては、「(2) 民生 SSA プラットフォームの構想案検討」として、2 章での調査・検討結果を踏まえ、基幹システムを補完する民生 SSA プラットフォームの構想案に関する検討結果を述べた。4 章、5 章では、それぞれ有識者検討会、民間ステークホルダーへの事業成果の報告会の結果について述べた。

本調査の結果、ユーザの求めるサービスと国として保有すべき SSA の基盤的能力との間にはギャップがあり、そのギャップを補完するような「民生 SSA プラットフォーム」が必要とされる可能性が高いことが判明した。そのため、本調査ではその可能性に着目し、基幹システムではカバーしきれないユーザのニーズに届くサービスやデータの提供を中核として検討を行い、概念検討や一部サービスの試作を行った。ただし、今後、基本設計や詳細設計を行う際には、システム構築の費用対効果や政府のシステムとの適切な役割分担などの追加の検討が必要な点は留意が必要である。加えて、民生 SSA プラットフォームの運用主体の検討も必要となる。

6.2 今後の課題

今後、令和 5 年度からの運用開始を目指し、政府により地上の運用システム・センサなどの SSA システムの整備が行われる予定となっている。また、同システムにより民間事業者への SSA サービスの提供も開始される予定となっている。一方で、上述のように SSA サービスを利用する事業者は増加・多様化する見込みであり、各ユーザの立場・状況に応じたきめ細やかなサービスが求められてくることが予想される。政府によるサービスに対し、ユーザの反応・不満などをモニタリングし、よりよいサービスの提供につなげていくような活動を行うことが必要と思われる。

本事業は、株式会社三菱総合研究所に加え、SSA に長年の実績と知見を持つ日本宇宙フォーラム、国内の SSA を担当している JAXA 及び防衛省の SSA システム開発に携わっているメーカーである富士通と NEC の計 4 社で調査チーム形成して実施した。基幹システムではカバーが難しいユーザのニーズに着目した本調査の検討結果が、将来のきめ細かいサービスの提供の参考となりえると考えている。本調査結果が今後の我が国の SSA をめぐる検討の一助となることを祈念する。

令和２年度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・データ利用促進事業（民間事業者への宇宙状況把
握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フィ
ージビリティスタディ事業）

調査報告書

2021年３月

株式会社三菱総合研究所
フロンティア・テクノロジー本部
TEL (03)6858-3568

付録一覧

- ユーザ分析およびサービス導出
- 民生 SSA サービスの具体化
- 国内天文観測施設

ユーザのニーズ	ユーザ要求整理	サービス
有人物体に加えて無人物体も対象とした打上げ日時の解析をしてほしい。	無人物体の打上げ接近解析を行うこと	打上時接近解析
打ち上げ直前(前日等)の最新の軌道情報で接近解析してほしい。	最新（打ち上げ直前）軌道情報での接近解析を行うこと	
オンデマンドで接近解析情報を提供してほしい。	オンデマンドで接近解析を行うこと	
価格は数十万単位、あるいはJAXA委託より低価格で提供してほしい。	－	
打ち上げ計画に絶えうる精度、高精度なサービスを提供してほしい。	打上げ計画に十分な精度の接近解析を行うこと	
データの高信頼性確保、データの保証（提供情報で打ち上げ計画を立てて事故が起こった際の補償）をしてほしい。	－	
観測に加えて軌道変更計画も考慮した解析をしてほしい。	軌道変更も含めた接近解析を行うこと	
ローンチウィンドウ情報の登録による干渉結果を提供してほしい。	ローンチウィンドウ登録による干渉解析を行うこと	ローンチウィンドウ解析
軌道上物体位置情報（TLE）を提供してほしい。	軌道上物体位置情報（TLE）を提供すること	軌道情報提供
RPOに必要な情報を提供してほしい。	RPOに必要な情報を提供すること。	
ロケット上段の情報を提供してほしい。	ロケット上段情報を提供すること	
デブリ発生状況情報を提供してほしい。	デブリ発生情報を提供すること	
classified衛星情報を提供してほしい。	classified衛星情報を提供すること	
位置の共分散値（X,Y,Z）情報を提供してほしい。	軌道上位置の共分散値を提供すること	
軌道の時間変化情報を提供してほしい。	軌道の時間変化情報を提供すること	
求める精度：地上からのAZ, ELで0.05[deg]程度、 1km 以下（アロングトラック方向）、 CSpOC等以上～CSpOCと同様	－	
求める頻度：5回/日～1回/日～年十回程度	－	
特定の衛星（自衛星・対象衛星）に特化した情報を提供してほしい。	－	
過去の軌道制御履歴の検索をしたい。	過去の軌道制御履歴情報を提供すること	
オンデマンドで軌道情報を提供してほしい。	オンデマンドで軌道情報を提供すること	
安価に軌道情報を提供してほしい（具体的な金額不明）。	－	
軌道決定に必要な情報を設定後、自動で情報提供を可能にしてほしい。	－	
AGI社の無償版STKソフトウェアにインプット可能なフォーマットが望ましい。	－	
安全保障の観点から自律性を有してほしい。	－	
デブリ(稼働中の人工衛星を含む)の人工衛星への接近予測を提供してほしい。	デブリの接近解析を行うこと	衛星運用時接近解析
軌道制御後の予測軌道に対する接近解析をしてほしい。	軌道制御後の予測軌道に対する接近解析を行うこと	
高精度なスクリーニング機能が欲しい（観測可能なデブリが増えることによる誤アラートを減らすことが可能な精度）。	不要なアラートを減らすスクリーニングを行うこと	スクリーニング
分散値が含まれない軌道予測暦へも対応してほしい。	分散値が含まれない軌道予測暦にも対応したスクリーニングを行うこと	
不要なCDMをスクリーニングしてほしい。	不要なアラートを減らすスクリーニングを行うこと	
コロケーション衛星を考慮したスクリーニングをしてほしい。	コロケーション衛星を考慮したスクリーニングを行うこと	
最接近日から余裕を持った段階でCDMを発行してほしい（4～5日前）。	最接近日の4～5日前にCDMを発行すること	CDM発行
マヌーバも考慮したCDM発行をしてほしい。	マヌーバの情報を加味したCDMを発行すること	
高精度なCDM発行をしてほしい（衛星・デブリを対象、1σ100m級の精度）。	－	
低軌道～静止軌道の衛星向けのCDM発行をしてほしい。	低軌道～静止軌道の衛星を対象としたCDMを発行すること	
最接近距離および日時(分秒単位で)を通知するCDM発行をしてほしい。	最接近距離と最接近日時（分秒単位）で通知するCDMを発行すること	
日本の衛星に対するCDMの精度、頻度がコントロールが可能にしてほしい。	ユーザ側で精度、頻度を操作可能な形でCDMを発行すること	
CDM発行は無料・廉価なものにしてほしい。	－	
国際的に統一されたCDM発行にしてほしい。	国際的に統一された規格・方式でCDMを発行すること	
接近状況を視覚的に確認可能なCDMを発行してほしい。	接近状況を視覚的に把握できる形でCDMを発行すること	
Web APIでCDMを柔軟に選択(対象衛星、期間、最接近距離や衝突確率でフィルタリング)できるインタフェースを有してほしい。	－	
Classified衛星も扱ってほしい。	Classified衛星も考慮したCDMを発行すること	
求める精度：10m 単位	－	
求める頻度：閾値以上で 6-8 時間毎、高頻度	－	
可能性 0.5%以上でCDMが発行されるようにしてほしい。	CDM発行の基準値を設定できること	
対象衛星、期間、最接近距離、衝突確率でフィルタリングできるようにしてほしい。	CDMを衛星、期間、最接近距離、衝突確率でフィルタリング可能とすること。	
ΔV計画の提案をしてほしい。	接近回避方法の立案（ΔV計画）を支援する情報を提供すること	回避計画立案支援
加速・減速のどちらで回避するべきかの情報提供をしてほしい。	接近回避方法の立案（加速・減速）を支援する情報を提供すること	
再突入解析してほしい。	再突入解析を行うこと	再突入解析
軌道離脱・廃棄運用支援をしてほしい。	軌道離脱・廃棄運用を支援する情報を提供すること	軌道離脱・廃棄運用支援
宇宙天気情報(放射線、陽子線フラックス等)を提供してほしい。	宇宙天気情報(放射線、陽子線フラックス等)を提供すること	宇宙天気情報提供
求める精度：高精度～NASAと同等	－	
求める頻度：数時間更新、毎日計算して提供	－	
メール、ウェブ（API）、リアルタイムのI/Fで提供してほしい。	－	
運用者が使いやすいインタフェース・機能で提供してほしい。	－	
画像情報（光学望遠鏡/電波センサ等）を提供してほしい。	画像情報（光学望遠鏡/電波センサ等）を提供すること（故障要因解析用）	衛星モニタリングサービス（※故障解析に役立つよう特定の衛星をモニタリングする）
衛星表面・内部に電子・プロトンがどれくらいのエネルギー分布を持ち、どれくらいのフラックスで貫通するかに関する情報提供をしてほしい。	衛星内部・外部の電子・プロトンの情報を提供すること	
衛星の内部・外部の最大帯電電位を提供してほしい。	衛星内部・外部の最大帯電電位の情報を提供すること	

ユーザ要求分析および
サービスの導出

ユーザのニーズ	ユーザ要求整理	サービス
衛星画像を提供してほしい。	衛星の状況を撮像した画像を提供すること	観測情報提供
高精度なデブリを観測してほしい。	デブリ観測情報を提供すること	
ロケット第2段による観測データを入力してほしい。	ロケット第2段による観測情報を提供すること	
宇宙配備・宇宙監視衛星からの情報を取り込んでほしい。	宇宙から観測した情報を提供すること	
米国等のデータベースを取り込んでほしい。	他国のデータベース情報を提供すること	他のデータベース情報の提供
他のSSAシステムとの相互運用性を有してほしい。	他のシステムと相互運用性を担保すること	
クライアント物体の選定における情報収集でのクライアント物体のタンブリングレートが欲しい（公開データベース等でも入手可能であるが、精度の上で十分ではな	タンブリング衛星のタンブリングレートを提供すること	その他情報提供
衛星運用事業者の連絡窓口一覧を提供してほしい。	衛星運用事業者の連絡窓口の情報を提供すること	
民間SSAサービスプロバイダ情報を提供してほしい。	民間SSAサービスプロバイダの情報を提供すること	
打上申請を短期間で許認可できるようにしてほしい（現状より時間短縮）。	－	打上申請支援
STM情報を提供してほしい。	STM情報を提供すること	STM
ウェブ、API、アプリ等でサービスを提供してほしい。	－	全体 （※特定のサービスではなく、全体もしくは複数のサービスに関わる）
運用者が使いやすいインタフェースにしてほしい。	－	
入手希望データの接続先リンクの仕組み（API、インタフェース共通化等）を整えてほしい。	－	
データのアップロード・ダウンロードを自動化してほしい。	－	
STK, Google Earth等と連携してほしい。	－	
複数のOSへの対応してほしい。	－	
データ諸元を保証してほしい。	－	
行動決定に対する保証がほしい。	－	

サービス	ユーザへのサービス内容、特記事項
打上時接近解析	【サービス概要】 打上げ計画に基づいて打上げ日時を解析するとともに、打上げ直後の適時性を持った接近解析結果及びCDMを提供する。 【サービス詳細】 対象：有人物体（現状ISSのみ）、無人物体 内容： ・ 打ち上げ直前(前日等) の最新軌道情報で解析する。 ・ オンデマンドで打上げ時の接近解析を実施する。 ・ 無償、あるいは有償でも数十万円程度でサービスを提供する。 ・ 打上げ計画（飛行安全計画）に耐えうる接近解析結果を提供する。 ・ データの高信頼性確保とデータの保証（提供情報に基づく打上げ計画の下で事故が起こった際の補償など）を実現する。 ・ 入手希望データの接続先リンクの仕組み（API、インタフェース共通化等）を統一する。 ・ 投入対象衛星の観測に加えて軌道変更計画も考慮した解析結果を提供する。
ローンチウィンドウ解析	【サービス概要】 ローンチウィンドウ情報の算出を行う。 【サービス詳細】 ・ オンデマンド解析を実施する。 ・ 多数の物体に対するCOLA解析を実施し、ローンチウィンドウ解析結果を提供する。より小さいデブリも解析対象とする。 ・ Secondary衛星ΔVの計画に従い、ΔV後の打上げCOLA解析を実施し、ローンチウィンドウ解析結果を提供する。
軌道情報提供	【サービス概要】 希望する物体の軌道情報（軌道暦、TLE等）を提供する。 【サービス詳細】 対象：衛星、デブリ（非アクティブな衛星、ロケット残骸等） 内容： ・ オンデマンドで希望する物体の軌道情報を提供する。 ・ オンデマンドで希望する物体（複数物体を含む）を頻度を上げて継続的に観測し、高精度な観測結果を提供する。 ・ 基本的な軌道情報（TLE、軌道暦）を提供する。 ・ RPOに必要な情報（より正確な軌道）を提供する。 ・ RPOに必要な情報（ランデブーを行うための軌道計画立案等）を提供する。 ・ ロケット上段等の近接する非アクティブな物体軌道情報を提供する。 ・ 起源を同じとする物体（デブリ発生状況）に関する情報を提供する。 ・ 独自解析を行うために（Classified衛星を示唆する）UNKNOWN情報を提供する。 ・ より正確な独自解析を行うために、位置の共分散値（X,Y,Z）情報を提供する。 ・ 希望する物体のマヌーバ情報等、軌道の時間変化情報を迅速に軌道情報に反映し、提供する。 ・ 対象物体の高精度軌道情報を提供する。軌道情報の精度はCSpOCと同等以上である。 ・ 特定の衛星（自衛星・対象衛星）に特化した情報を提供する。 ・ 過去の軌道制御履歴の検索機能を有する。故障解析等の為に過去に遡ったデータへのアクセスサービスを提供する。 ・ 基本的なサービスは無償か安価である。 ・ Web APIで取得したい情報を柔軟に選択できるインタフェースを有する(対象衛星、期間、最接近距離、衝突確率でフィルタリングできるもの)。 ・ 軌道決定に必要な情報を設定後、自動で情報提供及び取得が可能である。 ・ AGI社の無償版STKソフトウェア等、市販品にインプット可能なフォーマットを有する。 ・ 安全保障の観点と自主独立の観点、補完の観点から自律性を有する。 ・ 軌道情報の更新頻度保障、または出处や更新タイミング等の情報を記載保証し提供する。 ・ （今後増えて来ると思われる）電気推進を前提とした軌道推定結果（軌道暦）を提供する、

サービス	ユーザへのサービス内容、特記事項
衛星運用時接近解析	【サービス概要】独自に接近解析するために、クライアント物体のタンブリングレートを提供する。 【サービス詳細】 ・オンデマンドで希望する物体（複数物体を含む）の高精度な接近解析結果を提供する。 ・オンデマンドで指定した物体を継続的に頻度を上げて観測する（例：日本が運用/所有する衛星に関して高精度で適時性を持った接近解析結果、CDMを提供する）。 ・カタログ未反映の物体に関して、接近解析を実施し、接近解析結果及びCDMを提供する。 ・接近解析結果を保証する。【要検討】
スクリーニング	【サービス概要】高精度なオンデマンドスクリーニング結果を提供する。日本の官民が運用／所有する衛星に関してはスクリーニングの優先度を上げる。 【サービス詳細】 ・観測可能なデブリが増えることによる誤アラートを減らすことが可能な精度の情報を提供する。 ・オンデマンドスクリーニングにより高頻度な情報更新を行う。 ・共分散を含む、あるいは含まない軌道予測暦を入力としたスクリーニングを実施する。 ・精度向上に伴い不要又は誤ったCDMに対する自動スクリーニングを行う。 ・コロケーション衛星を考慮し、不要又は誤ったCDMのスクリーニングを行う。 ・再突入物体を含めたオンデマンドスクリーニング結果を提供する。
CDM発行	【サービス概要】日本が運用／保有する衛星に対して優先的に高精度で適時性を持った接近解析結果及びCDMを発行する。 【サービス詳細】 ・最接近日から余裕を持ってCDMを発行する（4～5日前）。 ・自衛星のマヌーバも考慮してCDMの発行を抑制する。 ・デブリの高精度な共分散値を用いて、高精度なCDMを発行する。 ・低軌道～静止軌道の衛星向けのCDMを発行する。 ・最接近距離および日時(分秒単位で)を通知するCDMを発行する。 ・日本の衛星に対するCDMの精度、頻度がコントロール可能になり、無駄なマヌーバの減少につながる情報を提供する。 ・頻度高くCDMを発行する。 ・CSPOC同様に無償又は安価にCDMを発行する。 ・国際的に統一されたCDMを発行する。 ・オンデマンドでCDMを発行できる。 ・Web APIでCDMの通知閾値、確率最接近距離のクライテリアをユーザが設定可能とする。 ・接近状況を視覚的に確認可能なCDMを提供する。 ・Web APIでCDMを柔軟にフィルタリング(対象衛星、期間、最接近距離や衝突確率)できるインタフェースを提供する。 ・軌道制御情報や（Classified衛星を示唆する）UNKNOWN情報を含めたCDMを発行する。 ・コロケーションを考慮して接近解析結果、CDMを提供する。 ・カタログ未反映の物体に関して、接近解析を実施し接近解析結果、CDMを提供する。 ・ΔV後の衝突解析までを実施し参考情報として提供する。 ・CDMの解析結果を保証する。【要検討】
回避計画立案支援機能	【サービス概要】運用計画の立案を支援する。具体的にはΔVの計画を提案し、ユーザの利便性を高める。 【サービス詳細】 ・加速・減速いずれの回避行動が妥当かを評価し、評価結果を提供する。 ・デブリとの衝突回避も対象としたΔV計画（マヌーバ計画）を提案する。 ・ΔV中、ΔV後の衝突解析、元の軌道に戻すまでの軌道計画を参考情報として提供する。 ・回避操作実施の自動判断に寄与する情報を提供する。 ・回避機動計画シミュレータ、無償ツール（STK、GoogleEarth）との連携機能を提供する。

サービス	ユーザへのサービス内容、特記事項
再突入解析	【サービス概要】地球の大気圏に突入する物体の正確な再突入位置と時間を予測する。 【サービス詳細】 ・再突入情報（突入地点、時間帯等）を提供する。 ・再突入物体も対象とした高精度で適時性を持ったオンデマンドスクリーニング結果を提供する。 ・再突入物体も対象とした高精度で適時性を持った接近解析結果及びCDMを提供する。
軌道離脱・廃棄運用支援	【サービス概要】運用が終了した衛星を廃棄するため、軌道を離脱させるため、軌道離脱・廃棄運用計画の立案を代行する。またその間の衝突解析も実施する。 【サービス詳細】 ・高精度で適時性を持った接近解析結果及びCDMを提供する。 ・廃棄用軌道計算、マヌーバ計画（ΔV計画）立案を行う。 ・墓場軌道遷移後の光学観測を行う。
宇宙天気情報提供	【サービス概要】衛星運用時に支障が出た時、衛星異常事象発生後の故障解析を行う時又は測位精度劣化時の電離層攪乱状況を確認する時に必要な宇宙天気情報を提供する。 【サービス詳細】 。衛星表面・内部に電子・プロトンがどれくらいのエネルギー分布を持ち、どれくらいのフラックス量かに関する情報を提供する。 ・衛星の情報を提供することにより、衛星の内部・外部の最大帯電電位を提供する。 ・現在より予報精度の高い宇宙天気予報を提供する。 ・NICTの情報を内包し、NICT専門知識をエンジン化し、それをベースとして、JAXA、衛星運用者の業務に必要な物理量へ変換し提供する。 ・最大帯電電位予想等の宇宙天気から影響を受ける衛星の状態について予測値について算出し提供する ・過去に遡ったデータへのアクセスサービスを提供する。 ・宇宙天気の過去の累積値や統計的手法を用いたトレンド解析を行う。 ・公開Webにて宇宙天気を通知する。 ・メールを用いて宇宙天気を配信する。 ・REST-APIを整備し提供する。 ・データ取得APIを公開又は提供する。
衛星モニタリングサービス	【サービス概要】故障や経年劣化を把握するための各種外観情報を提供する。 【サービス詳細】 ・故障や経年劣化を把握するための外観情報（光学望遠鏡、電波センサ等）を提供する。 ・上記の情報を継続的にモニタリングする。 ・衛星異常事象発生後の故障解析情報の根拠として宇宙天気情報(放射線、陽子線フラックス等)を提供する。 ・指定した日時の、他の衛星の運用状況、故障情報を提供する。 ・指定した衛星の軌道位置近傍の電波干渉情報を提供するとともに、電波干渉原因調査を支援する。
観測情報提供	【サービス概要】要求に応じて衛星の状況を撮像した画像を提供する。 【サービス詳細】 ・要求に応じて高精度画像を取得する。 ・独自センサ等による宇宙物体観測によって得られた高精度な観測データを取得し、取り込む。 ・オンデマンドのライトカーブ観測を実施する。 ・JAXA SEESデータベースアクセスサービスを提供する。 ・レーザー観測結果（画像）を提供する。 ・レーダー観測結果（画像）を提供する。 ・ロケット第2段による観測データの取得
他のデータベース情報の提供	【サービス概要】入力データの充実とデータフュージョンを図り、利用者に提供する情報の精度を高める。 【サービス詳細】 ・宇宙配備・宇宙監視衛星からの情報を取得し、取り込む。 ・米国等のデータベースを取り込む。 ・OADR／関係機関の情報を取り込む。

民生SSAサービスの具体化

サービス	ユーザへのサービス内容、特記事項
その他情報提供	【サービス概要】 SSAに関連する各種情報を提供する。 【サービス詳細】 ・ 衛星運用事業者の連絡窓口一覧を提供する。 ・ 民間SSAサービスプロバイダ情報を提供する。 ・ 接近物体のActive/Non Activeを確認するデータベースへのアクセスサービスを提供する。 ・ 宇宙物体カタログの公開とユーザ側解析のインプットとして利用しやすくするサービスを提供する。 ・ 軌道情報の更新頻度を保証、または出处や更新タイミング等の情報を保証する。
打上申請支援	【サービス概要】 現状より短期間（1か月程度）での許認可を実現するための支援サービスを提供する。 【サービス詳細】 ・ 打上げに必要な許認可申請を支援する（解析実施、申請書案作成、申請に係る調整窓口等） ・ 衛星の運用に必要な許認可申請を支援する。
全体	【共通事項】 民生SSAプラットフォームに関する共通事項は以下の通り。 ・ 他のSSAシステムとの相互運用性を有する。 ・ 日本語対応及び英語対応サービスを提供する。 ・ 各種I/F（ウェブ、API、アプリ等）でサービスを提供する。 － オンライン公開（REST API）： REAT APIを整備し、公開/提供 － オンライン公開(WEB)： 公開Webにて通知、Webmailを提供 － オンライン公開(CLI)： CLIで利用可能なAPIを整備し提供 － オンライン公開(API又はSaaS)： API又はSaaSを整備し提供 － メールによるCDM通知 － メールによる宇宙天気配信 － データアップロード、ダウンロード自動化APIの提供 ・ STK, Google Earth等との連携可能なデータフォーマットを提供する。 ・ 複数OSへ対応したアプリ、サービスを提供する。 ・ データソースの諸元を提示するとともに、提供したデータの精度を保証する。 ・ 衛星の回避行動決定に対する正当性を保証する。 ・ 要望やニーズを吸い上げる、恒常的な窓口を設置する。 ・ 充実したGUI、3Dグラフィックを提供する、 ・ 解析ツール。アプリケーションをオンラインで提供する。

施設No.	名称	所在地	運用機関	設置年	稼働状況	性能			その他
						種別	口径	観測目的	
1	しょさんべつ天文台	北海道道前郡初山別村	地元青年団と自治体	1989年	稼働中	反射	65cm	通常観測、教育目的	
2	なよろ市立天文台きたすばる	北海道名寄市	名寄市	1992年	閉鎖	反射	160cm	研究活動、一般公開	・公開天文台として、国内2番目の大きさ ・口径16mのビリカ望遠鏡は2011年から本格運用開始 ・2005年12月より北海道大学と名寄市が研究による相互協定を締結 資料「きたすばる」 ポラリス2号（移動天文台）
2	なよろ市立天文台きたすばる	北海道名寄市	名寄市	1992年	稼働中	反射	50cm	研究活動、一般公開	
2	なよろ市立天文台きたすばる	北海道名寄市	名寄市	1992年	稼働中	反射	40cm	研究活動、一般公開	
2	なよろ市立天文台きたすばる	北海道名寄市	名寄市	1992年	稼働中	反射	40cm	研究活動、一般公開	
3	北海道北見文化センター	北海道北見市	北見市	1984年	稼働中	屈折	20cm	一般向け複合施設	
4	旭川市科学館 サイバル	北海道旭川市	旭川市	2005年	稼働中	反射	65cm	一般公開	
4	旭川市科学館 サイバル	北海道旭川市	旭川市	不明	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
5	美瑛町郷土学院「美瑛」・美瑛天文台	北海道上川郡美瑛町	美瑛町	2016年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
5	美瑛町郷土学院「美瑛」・美瑛天文台	北海道上川郡美瑛町	美瑛町	不明	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
6	網戸の森天文台	北海道足寄郡陸別町	陸別町	1998年	稼働中	反射	115cm	研究活動、一般公開	・1階展示室は、一般公開 ・2階総合観測室は、名古屋大学宇宙地球環境研究所の「陸別観測所」と国立環境研究所の「陸別成層圏観測観測台」が併設
7	札幌市天文台	北海道札幌市中央区	札幌市青少年科学館	1958年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
8	札幌市青少年科学館	北海道札幌市厚別区	札幌市教育委員会	1981年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
8	札幌市青少年科学館	北海道札幌市厚別区	札幌市教育委員会	不明	稼働中	屈折	25cm	一般公開	移動天文台
8	札幌市青少年科学館	北海道札幌市厚別区	札幌市教育委員会	不明	休止中	屈折	10cm	一般公開	
9	帯広市児童会館	北海道帯広市	帯広市	1964年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
10	小樽市総合博物館	北海道小樽市	小樽市	1963年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
11	網走市こども遊学館	北海道網走市	網走市	1963年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	移動天文台
12	苫小牧市科学センター	北海道苫小牧市	苫小牧市	1970年	稼働中	反射	15cm	一般公開	
13	樺内市青少年科学館	北海道樺内市	樺内市	1974年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
14	増毛町天体観測施設・ましか天文台	北海道増毛町	増毛町	1987年	休止中	反射	41cm	一般公開	
15	科里町立和床博物館	北海道科里町	科里町	1978年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
16	深川市まきがい文化センター	北海道深川市	深川市	1992年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
17	豊浦町天体観測所	北海道豊浦町	豊浦町	1988年	不明	反射	43cm	不明	
18	室蘭市 体験学習センター こころみ	北海道室蘭市	室蘭市	2000年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
19	社管町森と木の星センター	北海道有珠郡社管町	社管町	1995年	稼働中	反射	20cm	一般公開	
20	釧々天文台	北海道上川郡美瑛町	民間	2000年	稼働中	反射	20cm	一般公開	
21	十和田市民文化センター一般観望センター	青森県十和田市	十和田市	1986年	稼働中	反射	30cm	一般公開	
22	星と森のロマンシアそうま天文台	青森県弘前市	民間	1989年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
23	一戸町観光天文台 網河牧場	岩手県二戸郡一戸町	民間	1989年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
24	小岩井農場 まきばの天文館	岩手県岩手郡紫石町/滝沢町	民間	1993年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
25	岩手山銀河ステーション	岩手県八幡平市	民間	1992年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
26	きさらぎ堂船山天文台	岩手県一関市	一関市	1993年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
27	仙台市天文台	宮城県仙台市	仙台市	1955年	稼働中	反射	130cm	研究活動、一般公開	2008年に移転
27	仙台市天文台	宮城県仙台市	仙台市	不明	稼働中	反射	40cm	一般公開	
27	仙台市天文台	宮城県仙台市	仙台市	不明	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
27	仙台市天文台	宮城県仙台市	仙台市	不明	稼働中	屈折	20cm	一般公開	ペガサス（移動天文台）
28	大船渡宇宙望遠センター「パレットおおきま」	宮城県大崎市	大崎地域広域行政事務組合	1998年	稼働中	反射	30cm	一般公開	
29	山形市生涯学習センター「コスモワールド」	宮城県山形市	民間	1996年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
30	熊海の森天体観測館	山形県酒田市	酒田市	1993年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
31	山形県教育センター	山形県天童市	山形県教育センター	1975年	稼働中	屈折	15cm	教育用	
32	鶴岡市観望センター	山形県鶴岡市	鶴岡市	1984年	稼働中	反射	20cm	一般公開	
33	やまがた天文台	山形県山形市	山形大学、NPO	2003年	休止中	屈折	15cm	一般公開	COVID-19により当面休館
34	きさらぎ堂船山天文台	福島県福島市	福島市	1993年	稼働中	反射	40cm	一般公開	標高1600mに位置する日本で一番高い所にある公開天文台
34	福島市浄土平天文台	福島市	福島市	不明	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
35	星の村天文台	福島県田村市	田村市	1991年	稼働中	反射	65cm	一般公開	被災後、2012年にリニューアルオープン
36	福島県水戸市	福島県東北郡鮎川村	鮎川村	1989年	稼働中	反射	35cm	一般公開	
37	群馬県原スタターハントユースホステル	群馬県福島市	民間	1988年	稼働中	反射	26cm	一般公開	
38	郡山市ふれあい科学館「スペースパーク」	群馬県郡山市	民間	1980年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	郡山市児童文化会館(現在は閉鎖)の望遠鏡を使用
39	ペンションクレワラ	群馬県前橋市北塩原村	民間	1995年	稼働中	反射	30cm	一般公開	
40	ユースグストハウスATOMA	群馬県福島市	民間	1995年	稼働中	反射	51cm	一般公開	
41	福島市子どもの夢を育む施設「こむこむ」	福島市	福島市	1995年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
42	国立科学博物館筑波実験植物園	茨城県つくば市	国立科学博物館	1990年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
43	花立自然公園・花立山天文台「美スター」	茨城県常陸大宮市	茨城県（個人）	1996年	稼働中	反射	82cm	一般公開	
44	ふれあいの星天文台	茨城県茨城県郡城町	城星町	1990年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
45	アストロさとみ	茨城県常陸太田市	常陸太田市	1998年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
46	坂東郷土館ミュージー	茨城県坂東市	坂東市	1997年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
47	茨城県立さしましよ自然の家	茨城県娘島郡境町	茨城県	1983年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
48	群馬宇宙技術センター	茨城県東吾妻町	NICT	1964年	稼働中	反射	35cm	研究活動	
49	水戸市総合教育研究所	茨城県水戸市	水戸市教育委員会	不明	稼働中	反射	30cm	一般公開	移動天文台のみ
49	水戸市総合教育研究所	茨城県水戸市	水戸市教育委員会	不明	稼働中	反射	20cm	一般公開	移動天文台のみ
49	水戸市総合教育研究所	茨城県水戸市	水戸市教育委員会	不明	稼働中	反射	20cm	一般公開	移動天文台のみ
49	水戸市総合教育研究所	茨城県水戸市	水戸市教育委員会	不明	稼働中	反射	20cm	一般公開	移動天文台のみ
50	栃木県子ども総合科学館	栃木県宇都宮市	栃木県	1988年	稼働中	反射	75cm	一般公開	
51	栃木県市民文化センター	栃木県鹿沼市	鹿沼市	1984年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
52	益子町天体観測施設スペース250	栃木県芳賀郡益子町	益子町	1994年	稼働中	屈折	25cm	一般公開	
53	大田原市ふれあいの丘 天文館	栃木県大田原市	民間	1995年	稼働中	反射	30cm	一般公開	
54	星ふる学校「くまの水」	栃木県塩谷郡塩谷町	民間	2002年	休止中	反射	35cm	一般公開	COVID-19により当面見合せ
55	宇都宮市立田原中学校	栃木県宇都宮市	宇都宮市立田原中学校	1994年	稼働中	屈折	20cm	教育用	
56	大平町児童館	栃木県栃木市	栃木市	1981年	稼働中	屈折	15cm	教育用	
57	栃木県立太平台自然の家	栃木県栃木市	栃木市	1974年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
58	小山市立博物館	栃木県小山市	小山市	不明	稼働中	反射	35cm	一般公開	移動望遠鏡のみ
59	佐野市こどもの国	栃木県佐野市	佐野市	不明	稼働中	屈折	20cm	一般公開	移動望遠鏡のみ
60	向井千秋記念子ども科学館	群馬県館林市	館林市	1991年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
61	群馬県立ぐんま天文台	群馬県吾妻郡高山村	群馬県	1999年	稼働中	反射	150cm	研究活動、一般公開	国立天文台や大学等と連携した観測と研究 http://www.astron.pref.gunma.jp/study/study.html
62	群馬県立ぐんま天文台	群馬県吾妻郡高山村	群馬県	不明	稼働中	反射	65cm	研究活動、一般公開	
62	伊勢崎市児童センター	群馬県伊勢崎市	伊勢崎市	1980年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
63	北軽井沢観望天文台	群馬県吾妻郡長野原町	飯沼学園中学校・高等学校	1984年	稼働中	反射	75cm	教育用	
64	桐生市中央公民館	群馬県桐生市	桐生市	1979年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
65	高崎市少年科学館	群馬県高崎市	高崎市	1984年	稼働中	反射	30cm	一般公開	
66	群馬県立自然史博物館	群馬県高崎市	群馬県	1996年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
67	群馬県総合教育センター	群馬県伊勢崎市	群馬県	1996年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
68	加須未来館	埼玉県加須市	加須市	2001年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
69	熊谷文化センタープラネタリウム館	埼玉県熊谷市	熊谷市	1991年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
69	熊谷文化センタープラネタリウム館	埼玉県熊谷市	熊谷市	不明	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
70	埼玉県立川ばいみプラザ	埼玉県比企郡小川町	埼玉県	不明	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
71	ときがわ町星と緑の創造センター	埼玉県比企郡ときがわ町	ときがわ町	2005年	稼働中	反射	91cm	一般公開	2020年にリニューアル
71	ときがわ町星と緑の創造センター	埼玉県比企郡ときがわ町	ときがわ町	不明	稼働中	反射	45cm	一般公開	国立天文台として利用されていたが2000年に閉鎖。現在は一般向け
71	ときがわ町星と緑の創造センター	埼玉県比企郡ときがわ町	ときがわ町	不明	稼働中	反射	30cm	一般公開	ペーカンマン・ジュミツ式望遠鏡は経路科学館に保存
72	さいたま市青少年宇宙科学館	埼玉県さいたま市	さいたま市	1988年	稼働中	屈折	28cm	一般公開	
73	川口市立科学館	埼玉県川口市	川口市	2003年	稼働中	反射	65cm	一般公開	
73	川口市立科学館	埼玉県川口市	川口市	不明	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
74	入間市児童文化センター	埼玉県入間市	入間市	1987年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
75	川越市児童文化センターこどもの城	埼玉県川越市	川越市	1983年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
76	北本市文化センター	埼玉県北本市	北本市	1984年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
77	越谷市立児童館	埼玉県越谷市	越谷市	1987年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
78	狭山市立中央児童館	埼玉県狭山市	狭山市	1977年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	県内最古のプラネタリウム機材を使用
79	吉川市児童館ワンダーランド	埼玉県吉川市	吉川市	1989年	稼働中	反射	15cm	一般公開	
80	上尾天文台	埼玉県上尾市	上尾市地域振興公社	1999年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
81	深谷市高齢者福祉青少年活動複合施設 むくせい館	埼玉県深谷市	深谷市	1995年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
82	相模原市立博物館	神奈川県相模原市	相模原市	1995年	稼働中	反射	40cm	一般公開	JAXA相模原キャンパスと連携
83	伊勢原市子ども科学館	神奈川県伊勢原市	伊勢原市	1989年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
84	かわさき宙(そら)と緑の科学館	神奈川県川崎市	川崎市	1982年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
85	私設天文台 多摩天体観測所	神奈川県川崎市	民間	1986年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
86	相模川ビレッジ若あゆ	神奈川県相模原市	民間	1996年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
87	カナコウ天文台	神奈川県相模原市	株式会社カナコウ	1996年	稼働中	反射	35cm	一般公開	
88	はまきん こども宇宙科学館	神奈川県横浜市長	民間	1999年	稼働中	反射	25cm	一般公開	
89	七沢ふれあいセンター	神奈川県横浜市	横浜市	1987年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
90	東京都立とよ文の博物館	東京都葛飾区	葛飾区	2004年	稼働中	反射	25cm	一般公開	
91	国立科学博物館	東京都台東区	独立行政法人国立科学博	1921年	稼働中	反射	65cm	一般公開	月に2回、夜の天体観望公開をしている
92	国立天文台三鷹キャンパス	東京都三鷹市	NAOJ	1995年	稼働中	反射	50cm	研究活動、一般公開	
92	国立天文台三鷹キャンパス	東京都三鷹市	NAOJ	1929年	休止中	屈折	65cm	一般公開	箇所式望遠鏡としては日本最大口径
93	府中市郷土の森博物館	東京都府中市	府中市	1987年	稼働中	反射	35cm	一般公開	移動式天文観測所に搭載
94	東京駅天文台	東京都北区	飯沼学園中学校・高等学校	1965年	稼働中	屈折	20cm	教育用	
95	羽村市中央児童館	東京都羽村市	羽村市	1982年	稼働中	反射	35cm	一般公開	
96	プラネタリアム板河産	東京都葛飾区	寺に併設	1989年	稼働中	反射	31cm	一般公開	
97	新潟県立自然科学館	新潟県新潟市	新潟県	1981年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
98	上越市星のふるさと館	新潟県上越市	上越市	1993年	稼働中	反射	65cm	一般公開	
99	オーフースター神林	新潟県村上市	村上市	1994年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
100	国立科学博物館 自然のま ｽﾊﾟﾙﾎｰﾙ棟	新潟県新潟市	独立行政法人国立科学博	1994年	稼働中	反射	20cm	一般公開	
101	熊本市自然天文館	新潟県熊本市	熊本市	2004年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
102	魚沼市自然科学館 星の家	新潟県魚沼市	魚沼市	1990年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
103	新潟市総合教育センター	新潟県新潟市	新潟市総合教育センター	不明	不明	不明	不明	不明	移動望遠鏡のみ
104	富山県科学博物館付属富山市天文台	富山県富山市	富山市	1997年	休止中	反射	100cm	一般公開	設備整った天体観望

施設No.	名称	所在地	運用機関	設置年	稼働状況	種別	口径	観測目的	その他
105	あおき天文台	高山県高山市	株式会社あおき	1988年	稼働中	反射	43cm	一般公開	兵衛屋として明治に創業、2003年に光学事業部を設立
106	国立山形県立山形自然の家・立山ドーム	高山県中新川郡立山町	独立行政法人 国立青少年	1995年	稼働中	独立行政法人 国立青少年	60cm	一般公開	
107	星の観察会満天星	石川県鳳珠郡能登町	能登町	1993年	稼働中	反射	60cm	一般公開	2008年に名称変更
108	徳河の里きび山・天文学習館	石川県金沢市	金沢市	1998年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
109	キャッセル真名井 天文台	石川県鳳珠郡穴水町	民間	1991年	稼働中	反射	40cm	一般公開	2008年に名称変更
110	いしかわ子ども交流センター小松館	石川県小松市	小松市	1984年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
111	かほく市生涯学習センター	石川県かほく市	かほく市	1993年	稼働中	反射	40cm	一般公開	2008年に名称変更
112	福井市自然史博物館	福井県福井市	福井市	1986年	稼働中	屈折	20cm	一般公開、福井天体観測研究会の活動	
113	福井県自然保護センター観望棟	福井県大野市	福井県	1990年	稼働中	反射	80cm	一般公開	2008年に名称変更
114	河野天文学習館	福井県南条郡南越前町	南越前町	1991年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
115	こどもの国	福井県敦賀市	敦賀市	1980年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	2008年に名称変更
116	羽村市自然体験村	東京都羽村市	羽村市	1989年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
117	ハッポ南麓天文台	山形県北杜市	民間	1985年	稼働中	反射	45cm	一般公開	現在は非公開
118	清見高原富士屋ホテル	山形県北杜市	民間	1991年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
119	山形県立ハッポ少年自然の家	山形県北杜市	山形県	1973年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	2008年に名称変更
120	長野市立博物館	長野県長野市	長野市	1981年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
121	うすたスタードーム	長野県松本市	松本市	1996年	稼働中	反射	60cm	一般公開	2008年に名称変更
122	おんたけ体験村天文館	長野県木曽郡王滝村	木曽町	1993年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
122	おんたけ体験村天文館	長野県木曽郡王滝村	木曽町	不明	稼働中	屈折	20cm	一般公開	2008年に名称変更
123	東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育	長野県木曽郡木曽町	東京大学大学院理学系研	1974年	稼働中	反射屈折	105cm	研究利用	
124	観河ドーム	長野県上伊那郡中川村	中川村	2002年	稼働中	反射	30cm	一般公開	2008年に名称変更
125	浅間連峰自然観察センター天体観測施設	長野県小諸市	小諸市	1987年	稼働中	反射	30cm	一般公開	
126	上田創造館	長野県上田市	民間	1985年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	2008年に名称変更
127	星と緑のロマンシア・小川天文台	長野県上水内郡小川村	小川天文台	1991年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
128	野田市自然体験村	長野県上川村	野田市	1989年	稼働中	反射	60cm	一般公開	2008年に名称変更
129	長峰山森林体験交流センター	長野県安曇野市	安曇野市	1995年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
130	川崎市ハッポ少年自然の家「アストロハウス	長野県長野市	長野市	1992年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	2008年に名称変更
131	高ツルギンギョウ天体観測施設	長野県松本市	松本市	1988年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
132	山形ミラ・フーズ館	長野県長野市	山形ミラ・フーズ館	1992年	稼働中	反射	40cm	一般公開	2008年に名称変更
133	松本市教育文化センター	長野県松本市	松本市	1983年	稼働中	反射	30cm	一般公開	
134	いびつな歴史ふれあい館	長野県上水内郡飯綱町	飯綱町	1998年	稼働中	反射	35cm	一般公開	2008年に名称変更
135	国立佐佐木高遠青少年自然の家	長野県伊那市	独立行政法人国立青少年	1993年	稼働中	反射	31cm	一般公開	
136	入笠山光学観測所	長野県伊那市	JAXA	2006年	稼働中	反射	60cm	研究利用	2008年に名称変更
137	ペンション星の家天文台	長野県北安曇郡小谷村	ペンション星の家天文台	1982年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
138	ペンション プラザーズ	長野県北安曇郡白馬村	ペンション プラザーズ	1989年	稼働中	反射	25cm	一般公開	2008年に名称変更
139	京都大学大学院理学研究科附属観望天文台	岐阜県高山市	京都大学大学院理学研究	1968年	稼働中	反射	60cm	研究利用	
139	京都大学大学院理学研究科附属観望天文台	岐阜県高山市	京都大学大学院理学研究	1972年	稼働中	屈折	65cm	研究利用	2008年に名称変更
140	岐阜市科学館	岐阜県岐阜市	岐阜市	1988年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
141	岐阜天文台	岐阜県岐阜市	公益財団法人岐阜天文台	1971年	稼働中	屈折	25cm	一般公開	2008年に名称変更
142	岐阜県青少年自然の家	岐阜県岐阜市	岐阜県	1980年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
143	ハートビート安八	岐阜県恵安郡安八町	恵安町	2003年	稼働中	反射	70cm	一般公開	2008年に名称変更
144	三の倉市反の里 地球村	岐阜県多治見市	公益財団法人多治見市文	1993年	稼働中	反射	15cm	一般公開	
145	西条満天宮	岐阜県美濃郡美濃川町	美濃川町	1990年	休止中	反射	50cm	一般公開	COVID-19により当面休館
146	関市まなびセンター	岐阜県関市	関市	1999年	休止中	屈折	15cm	一般公開	
147	飛騨プラネタリウム	岐阜県高山市	高山市	不明	稼働中	屈折	20cm	一般公開	移動望遠鏡のみ
148	月光天文台	静岡県山形郡函南町	公益財団法人 国際文化文	1957年	稼働中	反射	50cm	不明	
148	月光天文台	静岡県山形郡函南町	公益財団法人 国際文化文	不明	稼働中	屈折	20cm	不明	2008年に名称変更
149	星の広場天文台	静岡県静岡市	静岡県天文研究会	1986年	稼働中	反射	41cm	一般公開	
150	デイスカリパーク眺望	静岡県焼津市	公益財団法人焼津市振興	1997年	稼働中	反射	80cm	一般公開	2008年に名称変更
151	浜松市天文台	静岡県浜松市	浜松市	1982年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
152	静岡市立図書館	静岡県静岡市	静岡市	1991年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	2008年に名称変更
153	三ヶ丘天文台	静岡県浜松市	川原本町	2001年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
154	デイスカリパーク天文台	静岡県浜松市	静岡県	2005年	稼働中	反射	35cm	不明	2008年に名称変更
155	スカイワードあさひ	愛知県尾張市	尾張市	1992年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
156	名古屋科学館	愛知県名古屋	名古屋	1964年	稼働中	反射	65cm	一般公開	2008年に名称変更
157	半田市の科学館	愛知県半田市	半田市	1985年	稼働中	反射	30cm	一般公開	
158	一宮地域の文化広場	愛知県一宮市	ハマダスポーツ企画株式	1980年	稼働中	反射	40cm	一般公開	2008年に名称変更
159	夢と学びの科学体験館	愛知県刈谷市	刈谷市	1981年	稼働中	反射	45cm	一般公開	
160	東栄町森林体験交流センター	愛知県北設楽郡東栄町	東栄町	1972年	稼働中	反射	60cm	一般公開	2008年に名称変更
161	豊田市総合野外センター	愛知県豊田市	公益財団法人 豊田市文化	1982年	稼働中	反射	35cm	一般公開	
162	旭高屋元弘村「ミラッセ」	愛知県豊田市	株式会社旭高屋	1994年	稼働中	反射	40cm	一般公開	2008年に名称変更
163	寺津ふれあいセンター	愛知県西尾市	西尾市	1998年	稼働中	反射	30cm	一般公開	
164	尾張市立天文科学館	三重県尾張市	尾張市	1990年	稼働中	反射	81cm	一般公開	2008年に名称変更
165	松阪市天文台	三重県松阪市	松阪市	1987年	稼働中	反射	45cm	一般公開	
166	三重県総合教育センター	三重県津市	津市	1977年	不明	反射	30cm	不明	2008年に名称変更
167	スカイランドおほら天体観測所	三重県津市	津市	1992年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
168	四日市市立博物館	三重県四日市市	四日市市	不明	稼働中	屈折	20cm	一般公開	2008年に名称変更
169	三重県立熊野少年自然の家 天文台	三重県熊野市	三重県	1988年	稼働中	反射	45cm	一般公開	
170	ダイニックアストロパーク天文館	滋賀県犬上郡多賀町	ダイニック	1987年	稼働中	反射	60cm	一般公開、研究活動	2008年に名称変更
171	ガリバー青少年旅行村	滋賀県高島市	株式会社マックス	1988年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
172	彦根市子どもセンター	滋賀県彦根市	彦根市	1989年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	2008年に名称変更
173	綾部市天文台・バオ	京都府綾部市	綾部市	1995年	稼働中	反射	95cm	一般公開	
174	京都大学理学系研究科附属花山天文台	京都府京都市	京都大学	1929年	稼働中	屈折	45cm	研究活動	2008年に名称変更
174	京都大学理学系研究科附属花山天文台	京都府京都市	京都大学	1910年	稼働中	屈折	18cm	研究活動	
175	丹波天文館	京都府船井郡京丹波町	京都市	1986年	稼働中	反射	50cm	一般公開	2008年に名称変更
176	京都産業大学神山天文台	京都府京都市	京都産業大学	2009年	稼働中	反射	130cm	一般公開、研究活動	
177	アストロパルク	京都府宇治市	宇治市	1999年	稼働中	屈折	25cm	一般公開	2008年に名称変更
178	京都市青少年科学センター	京都府京都市	京都市	1969年	稼働中	屈折	25cm	一般公開	
179	京都市野外活動施設・花青山の家	京都府京都市	京都市	1993年	稼働中	反射	40cm	一般公開	2008年に名称変更
180	向日市天文館	京都府向日市	向日市	1993年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
181	久御山町ふれあい交流館ゆうホール	京都府久世郡久御山町	公益財団法人久御山町文	1999年	稼働中	反射	40cm	一般公開	2008年に名称変更
182	大阪府立科学館	大阪府大阪市	大阪市	1989年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
183	LICはびきの	大阪府羽曳野市	羽曳野市	不明	稼働中	反射	40cm	一般公開	2008年に名称変更
184	ソフィア・堺	大阪府堺市	JTBコミュニケーションズ	1994年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
185	善兵衛ランド	大阪府貝塚市	貝塚市	1992年	稼働中	反射	60cm	一般公開	2008年に名称変更
186	大阪府立青少年野外活動センター	大阪府豊能郡能勢町	大阪府	1969年	閉鎖	反射	43cm	一般公開	
187	枚方市野外活動センター「イスタホール」	大阪府枚方市	枚方市	1993年	稼働中	反射	60cm	一般公開	2008年に名称変更
188	ちやや自然のミュージアム	大阪府河内郡千早赤阪村	一般財団法人大阪府みど	2001年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
189	兵庫県立大学西はりま天文台	兵庫県加西市	兵庫県立大学	2004年	稼働中	反射	200cm	一般公開、研究活動	2008年に名称変更
189	兵庫県立大学西はりま天文台	兵庫県加西市	兵庫県立大学	1990年	稼働中	反射	60cm	一般公開、研究活動	
190	篠山川天文台	兵庫県川辺郡篠山町	篠山町	2002年	稼働中	反射	50cm	一般公開	2008年に名称変更
191	しらかば緑地地球科学館	兵庫県西脇市	西脇市	1993年	稼働中	反射	81cm	一般公開	
192	星の子館	兵庫県姫路市	姫路市	1992年	稼働中	反射	90cm	一般公開	2008年に名称変更
193	神戸市立青少年科学館	兵庫県神戸市	神戸市	1984年	稼働中	屈折	25cm	一般公開	
194	明石市立天文科学館	兵庫県明石市	明石市	1997年	稼働中	反射	40cm	一般公開	2008年に名称変更
195	香美町立香美天文館「間見望ドーム」	兵庫県東播磨郡香美町	香美町	1991年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
196	天文館「バルーンようか」	兵庫県養父市	養父市	1992年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	2008年に名称変更
197	南淡路国民体育館・天文台ボラリス	兵庫県南あわじ市	一般財団法人体育協会	1992年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
198	厄路市立東方高原自然の家・ともしき村	兵庫県厄路市	厄路市	1996年	稼働中	反射	40cm	一般公開	2008年に名称変更
199	加古川市立少年自然の家 天体観測室	兵庫県加古川市	加古川市	1996年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
200	西宮市立山崎少年自然の家	兵庫県西宮市	西宮市	1989年	稼働中	屈折	31cm	一般公開	2008年に名称変更
201	アルビレオ	兵庫県姫路市	オーベルジュ アルビレオ	1986年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
202	姫路科学館「アトムの館」	兵庫県姫路市	姫路市	不明	稼働中	不明	不明	一般公開	2008年に名称変更
203	大塚コスミックパーク星のくに	奈良県五條市	一般財団法人大塚ふる里	1986年	稼働中	反射	45cm	一般公開	
203	大塚コスミックパーク星のくに	奈良県五條市	一般財団法人大塚ふる里	不明	稼働中	反射	40cm	一般公開	2008年に名称変更
204	みさと天文台	和歌山県海南郡紀美野町	紀美野町	1995年	休止中	反射	105cm	一般公開	
205	かわべ天文公園	和歌山県日高郡日高川町	フラット・フィールド・	1996年	休止中	反射	100cm	一般公開	2008年に名称変更
206	生石高原天文台	和歌山県有田郡有田川町	有田川町	1992年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
207	鳥取市まじアストロパーク・佐治天文台	鳥取県鳥取市	鳥取市	1994年	稼働中	反射	103cm	一般公開	2008年に名称変更
208	米子市児童文化センター	鳥取県米子市	米子市	1983年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
209	鳥取県立船上山少年自然の家	鳥取県東伯郡琴浦町	鳥取県	1990年	稼働中	不明	20cm	一般公開	2008年に名称変更
210	鳥取県立三瓶自然館	鳥取県大田市	公益財団法人しまね自然	2002年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
210	鳥取県立三瓶自然館	鳥取県大田市	公益財団法人しまね自然	不明	稼働中	屈折	20cm	一般公開	2008年に名称変更
211	日野天文台	鳥取県日野市	鳥取県	1985年	稼働中	反射	75cm	一般公開	
212	鳥の国・飯江天体観測所	鳥取県三津市	鳥取県	2005年	稼働中	不明	20cm	一般公開	2008年に名称変更
213	松江市立天文台	鳥取県松江市	松江市	不明	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
214	美星天文台	岡山県井原市	井原市	1993年	稼働中	反射	101cm	一般公開、研究活動	2008年に名称変更
215	公益財団法人倉敷天文台	岡山県倉敷市	公益財団法人倉敷天文台	1926年	稼働中	反射	32cm	一般公開	
216	国立天文台岡山天体物理観測所	岡山県津山市	国立天文台	1960年	閉鎖	屈折	188cm	一般公開	2008年に名称変更

施設No.	名称	所在地	運用機関	設置年	稼働状況	性能			その他
						種別	口径	観測目的	
226	岡山県立大島自然の家	岡山県岡山市	岡山市	1999年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
227	かもがわ アストロコテージ ガリレオ	岡山県加賀郡吉備中央町	吉備中央町	1995年	稼働中	反射	30cm	一般公開	
228	豊後市真珠天体観測施設	岡山県豊後市	豊後市	2000年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
229	蒲刈町立市民の浜 天体観測館	広島県広島市	広島市	1989年	稼働中	反射	42cm	一般公開	
230	宇治山天文台	広島県三原市	三原市	1990年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
231	府中市子どもの国	広島県府中市	府中市	1993年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
232	夢天文台Astro	広島県山県郡北広島町	北広島町	1985年	稼働中	屈折	31cm	一般公開	
233	山口県立山口博物館	山口県山口市	山口市	1941年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
234	宇部市勤労青少年館	山口県宇部市	宇部市	1967年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
235	岡山山口徳地青少年自然の家	山口県山口市	独立行政法人国立青少年	1994年	稼働中	反射	51cm	一般公開	
236	防府市青少年科学館「ソッタル」	山口県防府市	公益財団法人防府市文化	1998年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
237	沼田市科学センター	山口県沼田市	沼田市	1989年	稼働中	屈折	13cm	一般公開	
238	阿南市科学センター	徳島県阿南市	阿南市	1999年	稼働中	反射	113cm	一般公開	
239	まんのう天文台	香川県仲多度郡まんのう町	まんのう町	2014年	稼働中	反射	30cm	一般公開	
240	香川県立五色台少年自然の家	香川県高松市	香川県	1971年	稼働中	反射	62cm	一般公開	
241	鉢伏ふれあい公園 星空観測室	香川県香川県	香川県	2004年	稼働中	反射	25cm	一般公開	
242	久万高原天体観測館	愛媛県上浮穴郡久万高原町	久万高原町	1992年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
243	東温市立天体観測室	愛媛県東温市	東温市	1985年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
244	愛媛県総合科学博物館	愛媛県新居浜市	新居浜市	1994年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
245	西条市こどもの国	愛媛県西条市	西条市	1986年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
246	高知みらい科学館	高知県高知市	高知市	不明	稼働中	反射	60cm	一般公開	
247	観ヶ森天文台	高知県高岡郡大豊町	大豊町	1994年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
248	芸西天文学館	高知県安芸郡芸西村	芸西村	2008年	稼働中	反射	70cm	一般公開	1981年に口径60cm望遠鏡を設置、2008年に口径70cmに更新
249	四万十市天体観測施設「四万十天文台」	高知県四万十市	四万十市	2013年	稼働中	反射	36cm	一般公開	
250	西土佐天体観測所	高知県四万十市	四万十市	1990年	不明	反射	35cm	不明	
251	佐川町立山崎記念天文台	高知県高岡郡佐川町	佐川町	1985年	稼働中	反射	26cm	一般公開	
252	土佐市立中央公民館	高知県土佐市	土佐市	1978年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
253	小郡市生涯学習センター天体ドーム	福岡県小郡市	小郡市	1993年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
253	小郡市生涯学習センター天体ドーム	福岡県小郡市	小郡市	不明	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
254	福岡県青少年科学館	福岡県久留米市	福岡県	1990年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
255	久留米市天文台	福岡県久留米市	久留米市	1998年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
256	星の文化館	福岡県八女市星野村	一般財団法人星のふるさ	2017年	稼働中	反射	100cm	一般公開	
256	星の文化館	福岡県八女市星野村	一般財団法人星のふるさ	1991年	稼働中	反射	65cm	一般公開	
256	星の文化館	福岡県八女市星野村	一般財団法人星のふるさ	不明	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
257	北九州市立児童文化科学館	福岡県北九州市	北九州市	1983年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
258	福岡県青少年科学文化会館	福岡県福岡市	福岡市	1971年	閉鎖	屈折	20cm	一般公開	
259	大野城市北コミュニティセンター	福岡県大野城市	大野城市	1992年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
260	財団法人 サンビレッジ西	福岡県飯塚市	財団法人 サンビレッジ西	1990年	稼働中	反射	20cm	一般公開	
261	せりり天文台	福岡県福岡市	あゆみらい福岡市自然の	1999年	稼働中	屈折	25cm	一般公開	
262	国立夜須高原青少年自然の家	福岡県柳井郡筑前町	独立行政法人国立青少年	1991年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
263	大野城スノーランド	福岡県柳井郡	柳井町	2001年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
264	豊安学習館（旧称：西々賀コミュニティセ	佐賀県佐賀市	佐賀市	1992年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
265	佐賀県立宇都科学館	佐賀県佐賀市	佐賀県	1991年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
266	唐津市少年科学館	佐賀県唐津市	唐津市	1992年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
267	長崎県科学館スターシップ	長崎県長崎市	長崎市	1997年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
267	長崎県科学館スターシップ	長崎県長崎市	長崎市	不明	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
268	五島市鬼島天文台	長崎県五島市	五島市	1991年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
268	五島市鬼島天文台	長崎県五島市	五島市	不明	稼働中	屈折	10cm	一般公開	
269	佐世保市児童文化館	長崎県佐世保市	佐世保市	1980年	閉鎖	反射	25cm	一般公開	
270	白木峰高原コスモス花宇宙館	長崎県諫早市	諫早市	1996年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
271	雲仙湯島の泡ビュッセルセンター	長崎県雲仙市	雲仙市	2000年	稼働中	屈折	25cm	一般公開	
272	長崎市民の森天文台	長崎県長崎市	長崎市	2001年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
273	長崎県教育センター	長崎県大村市	長崎県	1974年	不明	屈折	20cm	不明	
274	長崎県立佐世保青少年の天地	長崎県佐世保市	長崎県	不明	稼働中	屈折	20cm	一般公開	ビュースター（移動天文車）
275	合志市西吉図書館天文台	熊本県合志市	合志市	1995年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
276	南阿蘇ルナ天文台	熊本県阿蘇郡南阿蘇村	南阿蘇ルナ天文台	1996年	稼働中	反射	82cm	一般公開	
277	清和高原天文台	熊本県上益城郡山都町	清和高原天文台	1993年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
278	熊本県民天文台	熊本県熊本市	熊本県民天文台	1982年	稼働中	反射	41cm	一般公開	
279	さかもと八竜天文台	熊本県八代市	八代市	1997年	稼働中	反射	45cm	一般公開	
279	さかもと八竜天文台	熊本県八代市	八代市	1997年	稼働中	屈折	30cm	一般公開	
280	ミュージア天文台	熊本県上天草市	NPO法人 天草元気工房	1991年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
280	ミュージア天文台	熊本県上天草市	NPO法人 天草元気工房	不明	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
281	水上カンントリーパーク スペースキャビン「はいはい広場天文台」	熊本県埴原郡水上村	水上村岩野	1995年	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
282	熊本の星天文台天球館	大分県国東市	国東市	1998年	稼働中	反射	65cm	一般公開	
282	熊本の星天文台天球館	大分県国東市	国東市	不明	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
283	関崎海星館	大分県大分市	大分市	1995年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
284	コンパルホール	大分県大分市	大分市	1986年	稼働中	反射	30cm	一般公開	
285	きのこ2世号天文台	大分県竹田市	久住高原 ペンション き	1982年	稼働中	屈折	13cm	一般公開	
286	横岳自然公園 キララ館	大分県竹田市	竹田市	不明	稼働中	屈折	25cm	一般公開	
287	大分県立九重青少年の家	大分県玖珠郡九重町	大分県	2001年	稼働中	反射	20cm	一般公開	
288	たちばな天文台	宮崎県都城市	都城ばんち地域振興株式	1991年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
288	たちばな天文台	宮崎県都城市	都城ばんち地域振興株式	不明	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
289	中小屋天文台館ドーム	宮崎県美郷町	美郷町	1988年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
290	ぜんだい宇宙館	鹿児島県薩摩川内市	公益財団法人薩摩川内市	1998年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
290	ぜんだい宇宙館	鹿児島県薩摩川内市	公益財団法人薩摩川内市	不明	稼働中	屈折	15cm	一般公開	
291	スターランドAIRA	鹿児島県姶良市	姶良市	1993年	稼働中	反射	40cm	一般公開	
292	種子元天球館	鹿児島県鹿屋市	特定非営利活動法人 まち	1995年	稼働中	反射	65cm	一般公開	
293	トカラ列島中之島天文台	鹿児島県鹿児島郡十島村	十島村	1990年	稼働中	反射	60cm	一般公開	
294	出水市青年の家	鹿児島県出水市	出水市	1991年	稼働中	反射	50cm	一般公開	
295	鹿児島県立奄美少年自然の家	鹿児島県奄美市	奄美市	1992年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	
296	石垣島天文台	沖縄県石垣市	石垣島天文台	2006年	休止中	反射	105cm	一般公開	改修工事のため閉鎖中
297	波照間島星空観測タワー	沖縄県八重山郡竹富町	竹富町	1994年	稼働中	屈折	20cm	一般公開	日本最南端の公開天文台

施設No.	名称	所在地	運用機関	設置年	稼働状況	性能				
						種別	口径	視野角	駆動速度	観測目的
2	なよろ市立天文台きたすばる	北海道名寄市	名寄市	1992年	稼働中	光学(反射)	160cm	直径20分角（カセグレン） 直径10分角（ナスミスA） 直径3分角（ナスミスB）	不明	研究活動、一般公開
6	銀河の森天文台	北海道足寄郡陸別町	陸別町	1998年	稼働中	光学(反射)	115cm	不明	度5° /秒、 方位20° /秒	研究活動、一般公開
27	仙台市天文台	宮城県仙台市	仙台市	1955年	稼働中	光学(反射)	130cm	不明	2度/秒	研究活動、一般公開
61	群馬県立ぐんま天文台	群馬県吾妻郡高山村	群馬県	1999年	稼働中	光学(反射)	150cm	不明	不明	研究活動、一般公開
104	富山市科学博物館付属富山市天文台	富山県富山市	富山市	1997年	休止中	光学(反射)	100cm	不明	不明	不明
123	東京大学大学院理学系研究科附属天文台	長野県木曽郡木曽町	東京大学大学院理学系	1974年	稼働中	光学(反射屈折)	105cm	直径9度	不明	研究活動
176	京都産業大学神山天文台	京都府京都市	京都産業大学	2009年	稼働中	光学(反射)	130cm	不明	AZ軸 3度/秒、 ALT軸 2度/秒	一般公開、研究活動
189	兵庫県立大学西はりま天文台	兵庫県佐用郡佐用町	兵庫県立大学	2004年	稼働中	光学(反射)	200cm	不明	AZ軸 最大0.5度/秒、 EL軸 最大0.5度/秒	一般公開、研究活動
204	みさと天文台	和歌山県海草郡紀美野町	紀美野町	1995年	休止中	光学(反射)	105cm	不明	不明	一般公開
205	かわべ天文公園	和歌山県日高郡日高川町	プラットフォーム	1996年	休止中	光学(反射)	100cm	不明	不明	一般公開
207	鳥取市さじアストロパーク・佐治天文台	鳥取県鳥取市	鳥取市	1994年	稼働中	光学(反射)	103cm	不明	不明	一般公開
214	美星天文台	岡山県井原市	井原市	1993年	稼働中	光学(反射)	101cm	不明	不明	一般公開、研究活動
216	国立天文台岡山天体物理観測所	岡山県浅口市	国立天文台	1960年	閉鎖	光学(反射)	188cm	不明	赤経軸粗動駆動（最大）24° /分、 赤経軸微動駆動（最大）75° /分、 赤緯軸粗動駆動（最大）24° /分、 赤緯軸微動駆動（最大）60° /分	一般公開
238	阿南市科学センター	徳島県阿南市	阿南市	1999年	稼働中	光学(反射)	113cm	不明	不明	一般公開
256	星の文化館	福岡県八女市星野村	一般財団法人星のふる	2017年	稼働中	光学(反射)	100cm	不明	不明	一般公開
296	石垣島天文台	沖縄県石垣市	石垣島天文台	2006年	休止中	光学(反射)	105cm	不明	不明	一般公開

施設No.	名称	所在地	運用機関	設置年	稼働状況	性能					
						種別	口径	視野角	駆動速度	観測周波数	観測目的
1	国立天文台野辺山宇宙電波観測所	長野県南佐久郡南牧村	NAOJ	1981年	稼働中	電波	45m	不明	不明	1~150 GHz	全国大学共同利用観測所、一般公開
2	VERA水沢局	岩手県奥州市	国立天文台	2001年	稼働中	電波	20m	不明	不明	2、8、22、43GHz (2 ビーム観測：22、43GHz)	筑波大学、大阪府立大学の電波望遠鏡も設置
3	茨城観測局	茨城県高萩市	国立天文台	1992年	稼働中	電波	32m	不明	不明	C帯：6.3 - 7.0 GHz X帯：8.0 - 8.8 GHz K帯：22.6 - 22.6 GHz (予定)	研究活動
4	茨城観測局	茨城県日立市	国立天文台	1984年	稼働中	電波	32m	不明	不明	C帯：6.3 - 7.0 GHz X帯：8.0 - 8.8 GHz K帯：22.6 - 22.6 GHz (予定)	研究活動
5	山口局	山口県山口市	国立天文台	1979年	稼働中	電波	32m	不明	不明	X帯：6 - 8 GHz 80GHz帯：8180 - 8580 MHz 60GHz帯：6658 - 6678 MHz	研究活動
6	VERA入来観測局	鹿児島県薩摩川内市	国立天文台	2001年	稼働中	電波	20m	不明	不明	2、8、22、43GHz (2 ビーム観測：22、43GHz)	研究活動
7	VERA石垣観測局	沖縄県石垣市	国立天文台	2002年	稼働中	電波	20m	不明	不明	2、8、22、43GHz (2 ビーム観測：22、43GHz)	研究活動
8	VERA小笠原観測局	東京都小笠原村	国立天文台	2001年	稼働中	電波	20m	不明	不明	2、8、22、43GHz (2 ビーム観測：22、43GHz)	研究活動
9	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所白	長野県佐久市	JAXA ISAS	1984年	稼働中	電波	64m	不明	不明	S帯、X帯 (将来はK帯も)	一般公開、研究利用
10	岐阜局	岐阜県岐阜市	岐阜大学	2002年	稼働中	電波	11m	不明	不明	22 GHz	研究活動
11	和歌山大学	和歌山県海南郡紀美野町	和歌山大学	1998年	稼働中	電波	8m	不明	不明	1.4GHz	研究活動
12	名古屋大学	愛知県名古屋市中区	名古屋大学	1990年	稼働中	電波	4m	不明	不明	不明	研究活動
13	石岡VLO	茨城県石岡市	国土地理院	2014年	稼働中	電波	13.2m	不明	Az (回転) : 12 ° /秒以上 El (上下) : 3.5 ° /秒以上	2~14 GHz	研究活動

施設No.	名称	所在地	運用機関	設置年	稼働状況	性能					
						種別	口径	視野角	駆動速度	観測周波数	観測目的
1	国立天文台野辺山宇宙電波観測所	長野県南佐久郡南牧村	NAOJ	1981年	稼働中	電波	45m	不明	不明	1~150 GHz	全国大学共同利用観測所、一般公開 筑波大学、大阪府立大学の電波望遠鏡も設置
2	VERA水沢局	岩手県奥州市	国立天文台	2001年	稼働中	電波	20m	不明	不明	2、8、22、43GHz (2 ビーム観測：22、43GHz)	研究活動
3	茨城観測局	茨城県高萩市	国立天文台	1992年	稼働中	電波	32m	不明	不明	C帯：6.3 - 7.0 GHz X帯：8.0 - 8.8 GHz K帯：22.6 - 22.6 GHz (予定)	研究活動
4	茨城観測局	茨城県日立市	国立天文台	1984年	稼働中	電波	32m	不明	不明	C帯：6.3 - 7.0 GHz X帯：8.0 - 8.8 GHz K帯：22.6 - 22.6 GHz (予定)	研究活動
5	山口局	山口県山口市	国立天文台	1979年	稼働中	電波	32m	不明	不明	X帯：6 - 8 GHz 80GHz帯：8180 - 8580 MHz 60GHz帯：6658 - 6678 MHz	研究活動
6	VERA入来観測局	鹿児島県薩摩川内市	国立天文台	2001年	稼働中	電波	20m	不明	不明	2、8、22、43GHz (2 ビーム観測：22、43GHz)	研究活動
7	VERA石垣観測局	沖縄県石垣市	国立天文台	2002年	稼働中	電波	20m	不明	不明	2、8、22、43GHz (2 ビーム観測：22、43GHz)	研究活動
8	VERA小笠原観測局	東京都小笠原村	国立天文台	2001年	稼働中	電波	20m	不明	不明	2、8、22、43GHz (2 ビーム観測：22、43GHz)	研究活動
9	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所臼	長野県佐久市	JAXA ISAS	1984年	稼働中	電波	64m	不明	不明	S帯、X帯 (将来はK帯も)	一般公開、研究利用

二次利用未承諾リスト

令和2年度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・データ利用促進事業（民間事業者への宇宙状況把握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フィージビリティスタディ事業）

三菱総合研究所

頁	図表番号	タイトル
21	図2-2	JAXAのSSAシステムの構成
22	図2-3	CSpOCの宇宙監視ネットワーク（SSN）
22	図2-4	ComSpOCが提供するSSAソフトウェアのイメージ
23	図2-5	LeoLabs社のSSAサービスのイメージ
24	図2-6	ExoAnalytic社のSSAソフトウェアESpOCのイメージ
25	図2-7	L3Harris社の定常センサが捉えた画像
26	図2-8	Lockheed Martin社の軍事運用ソフトウェアiSPACEと他システムとの連携
26	図2-9	Kratos社のRF収集インフラ
27	図2-10	Numerica社の追跡サービスのイメージ
28	図2-11	EU SSTのセンサネットワーク
29	図2-12	宇宙監視システムASPOS OKPの役割
30	図2-13	ISONの観測地点
31	図2-14	SDAのメンバー一覧
32	図2-15	NICT宇宙天気予報センターによる宇宙天気予報（一部）
32	図2-16	NWS SWPCによる宇宙天気予報（一部）
38	図2-19	兵庫県立大学西はりま天文台の光学望遠鏡外観
39	図2-20	銀河の森天文台の光学望遠鏡外観
40	図2-21	野辺山宇宙電波観測所の45m電波望遠鏡
41	図2-22	野辺山宇宙電波観測所の10m電波望遠鏡
41	図2-23	VERAプロジェクト観測局の配置
71	図2-25	CSpOCにおけるプロセス
102	表3-2	世界のSSA市場規模推移予測（2020年～2027年）
103	表3-3	日本のSSA市場規模推移予測（2020年～2027年）
103	表3-4	日本のSSAの政府・防衛関連市場と商用関連市場の推移予測（2020年～2027年）