

宇宙産業プログラム
中間評価
技術評価報告書

(案)

2022年3月

産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成28年12月21日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成29年5月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している「宇宙産業分野（複数課題プログラム）」は、宇宙基本計画及びエネルギー基本計画に基づき、関係府省と分担・協力しつつ、宇宙機器開発と、官民双方の宇宙利用の裾野拡大を両輪として推進し、我が国の宇宙産業の市場規模拡大・競争力強化を図るため、以下の研究開発課題（プロジェクト）から構成されている。

A 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発（SERVISプロジェクト）（平成23年度から令和3年度）（中間評価）

B 石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発（平成19年度から令和3年度）（中間評価）

C 宇宙太陽光発電における無線送受電技術の高効率化に向けた研究開発（平成26年度から令和3年度）（中間評価）

D 政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利用環境整備事業（平成30年度から令和2年度）（終了時評価）

E 衛星データ統合活用実証事業（平成30年度）（終了時評価）

今般、省外の有識者からなる令和3年度宇宙産業プログラムに関する事業評価検討会（座長：建石 隆太郎 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 名誉教授）における検討の結果とりまとめられた、「宇宙産業プログラム 中間評価 技術評価報告書」の原案について、産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ（座長：鈴木 潤 政策研究大学院大学教授）において審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

2022年3月

産業構造審議会 産業技術環境分科会
研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ

産業構造審議会 産業技術環境分科会
研究開発・イノベーション小委員会
評価ワーキンググループ 委員名簿

- 座長 鈴木 潤 政策研究大学院大学 教授
- 秋澤 淳 東京農工大学大学院
生物システム応用科学府長・教授
- 亀井 信一 株式会社三菱総合研究所 研究理事
- 斉藤 栄子 With 未来考研究所 代表
- 高橋 真木子 金沢工業大学大学院
イノベーションマネジメント研究科 教授
- 竹山 春子 早稲田大学先進理工学部生命医科学科 教授
- 西尾 好司 文教大学情報学部情報社会学科 准教授
- 浜田 恵美子 日本ガイシ株式会社 取締役

(敬称略、座長除き五十音順)

宇宙産業プログラム
中間評価検討会 委員名簿

- 座長 建石 隆太郎 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 名誉教授
- 大貫 美鈴 スパークス・イノベーション・フォー・フューチャー株式会社 シニアバイスプレジデント
- 木村 真一 東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科 教授
- 白坂 成功 慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 教授
- 三宅 弘晃 東京都市大学 理工学部 教授

(敬称略、座長除き五十音順)

宇宙産業プログラム

技術評価に係る省内関係者

1. 複数課題プログラム

【中間評価時】

(今回)

製造産業局 宇宙産業室長 都築 直史 (事業担当課長)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 金地 隆志

(2018年度)

製造産業局 宇宙産業室長 浅井 洋介 (事業担当課長)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 大本 治康

(2015年度)

製造産業局 航空機武器宇宙産業課 宇宙産業室長 恒藤 晃 (事業担当課長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 岩松 潤

(2011年度)

製造産業局 航空機武器宇宙産業課 宇宙産業室長 岡野 克弥 (事業担当課長)

産業技術環境局 技術評価室長 岡本 繁樹

(2008年度)

製造産業局 航空機武器宇宙産業課 宇宙産業室長 飯田 陽一 (事業担当課長)

産業技術環境局 技術評価室長 長濱 裕二

[※] 平成27年度以前の実績は「技術に関する施策」に係るものである

2. 研究開発課題 (プロジェクト)

A 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業 (SERVISプロジェクト)

【中間評価時】

(今回)

製造産業局 宇宙産業室長 都築 直史 (事業担当課長)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 金地 隆志

(2018年度)

製造産業局 宇宙産業室長 浅井 洋介 (事業担当課長)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 大本 治康

(2015年度)

製造産業局 航空機武器宇宙産業課 宇宙産業室長 恒藤 晃 (事業担当課長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 技術評価室長 岩松 潤

(2011年度)

製造産業局 航空機武器宇宙産業課 宇宙産業室長 岡野 克弥 (事業担当課長)
産業技術環境局 技術評価室長 岡本 繁樹

【事前評価時】(事業初年度予算要求時)

機械情報産業局 航空機武器宇宙産業課長 柴生田 敦夫 (事業担当課長)

B 石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発

【中間評価時】

(今回)

製造産業局 宇宙産業室長 都築 直史 (事業担当課長)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 金地 隆志

(2018年度)

製造産業局 宇宙産業室長 浅井 洋介 (事業担当課長)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 大本 治康

(2015年度)

製造産業局 航空機武器宇宙産業課 宇宙産業室長 恒藤 晃 (事業担当課長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 技術評価室長 岩松 潤

(2011年度)

製造産業局 航空機武器宇宙産業課 宇宙産業室長 岡野 克弥 (事業担当課長)

産業技術環境局 技術評価室長 岡本 繁樹

【事前評価時】(事業初年度予算要求時)

製造産業局 航空機武器宇宙産業課 宇宙産業室長 飯田 陽一 (事業担当課長)

C 宇宙太陽光発電における無線送受電技術の高効率化に向けた研究開発

【中間評価時】

(今回)

製造産業局 宇宙産業室長 都築 直史 (事業担当課長)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 金地 隆志

(2018年度)

製造産業局 宇宙産業室長 浅井 洋介 (事業担当課長)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 大本 治康

(2015年度)

製造産業局 航空機武器宇宙産業課 宇宙産業室長 恒藤 晃 (事業担当課長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 技術評価室長 岩松 潤

【事前評価時】（事業初年度予算要求時）

製造産業局 航空機武器宇宙産業課 宇宙産業室長 恒藤 晃（事業担当課長）

D 政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利用環境整備事業
（今回）

【終了時評価】

製造産業局 宇宙産業室長 都築 直史（事業担当課長）

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 金地 隆志

【事前評価時】（事業初年度予算要求時）

製造産業局 宇宙産業室長 靄田 将範（事業担当課長）

E 衛星データ統合活用実証事業
（今回）

【終了時評価】

製造産業局 宇宙産業室長 都築 直史（事業担当課長）

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 金地 隆志

【事前評価時】（事業初年度予算要求時）

製造産業局 宇宙産業室長 靄田 将範（事業担当課長）

宇宙産業プログラム

中間評価の審議経過

【中間評価】

◆産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ（2022年3月17日）

- ・技術評価報告書（中間評価）について

◆「宇宙産業プログラム」評価検討会

第1回評価検討会（2022年1月14日）

- ・評価の進め方について
- ・事業の概要について

第2回評価検討会（2022年2月21日～2月25日：書面審議）

- ・第1回評価検討会議事録の確認について
- ・技術評価報告書（案）について

目次

第1部 事業の概要

第1章 複数課題プログラムの概要	2
1. 本事業の政策的位置付け/背景	4
2. 当省（国）が実施することの必要性	4
3. 複数課題プログラムの内容	5
4. 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等	7
5. 事業アウトプット	7
6. 事業アウトカム	9
7. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	10
8. 費用対効果	10

第2章 研究開発課題（プロジェクト）の概要

A 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業（SERVISプロジェクト）	12
B 石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発	52
C 宇宙太陽光発電における無線送受電技術の高効率化に向けた研究開発	99
D 政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利用環境整備事業	109
E 衛星データ統合活用実証事業	119

第2部 評価

第1章 研究開発課題（プロジェクト）の評価

A 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業（SERVISプロジェクト）	134
B 石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発	138
C 宇宙太陽光発電における無線送受電技術の高効率化に向けた研究開発	141
D 政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利用環境整備事業	144
E 衛星データ統合活用実証事業	147

第2章 複数課題プログラムの評価	150
第3章 評価ワーキンググループの所見	161

第1部 事業の概要

第 1 章 「複数課題プログラム」の概要

(複数課題プログラムの目的等)

プログラム名	宇宙産業プログラム						
上位施策名	①「未来投資戦略 2017、2018」(平成 29 年 6 月 9 日、平成 30 年 6 月 15 日閣議決定) ②「宇宙基本計画」(平成 28 年 4 月 1 日、令和 2 年 6 月 30 日閣議決定) ③「成長戦略 2019」(令和元年 6 月 21 日閣議決定) ④「宇宙産業ビジョン 2030」(平成 29 年 5 月宇宙政策委員会決定) ⑤「エネルギー基本計画」(令和 3 年 10 月 22 日閣議決定) ⑥「環境エネルギー技術革新計画」(平成 25 年 9 月総合科学技術会議決定) ⑦「エネルギー・環境イノベーション戦略」(平成 28 年 4 月総合科学技術・イノベーション会議決定)						
担当課室	経済産業省製造産業局宇宙産業室						
目的	宇宙安全保障の確保、宇宙を推進力とする経済成長とイノベーションの実現などのため、宇宙活動の自立性を支える産業・科学技術基盤を強化することが必要。 我が国の宇宙活動の自立性を維持していくため、民生分野の優れた部品・技術を活用して人工衛星等の低コスト化、高性能化、短納期化を実現すると共に、様々な産業における衛星データの利活用を促進する取り組みが重要。 上記の観点から以下の事業を実施。 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業 (SERVIS プロジェクト) 石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発事業費 宇宙太陽光発電における無線送電技術の高効率化に向けた研究開発事業委託費 政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利用環境整備事業費 衛星データ統合活用実証事業費						
類型	複数課題プログラム / 研究開発課題 (プロジェクト) / 研究資金制度						
実施時期	2007 年度～2023 年度 (16 年間)						
評価時期	事前評価：2006 年度、中間評価：2009、2012、2015、2018、2021 年度、終了時評価：2024 年度						
執行額 (百万円)	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	総執行額	総予算額
	1748	1646	2722	2533	2440	25294	25612

1. 本事業の政策的位置付け/背景

我が国の安全保障や経済社会における宇宙システムの役割が大きくなっており、この傾向は更に強まると見込まれる。こうした中、宇宙活動は従来の官主導から官民共創の時代を迎え、広範な分野で宇宙の利用による産業の活性化が図られてきている。さらに、宇宙探査の進展により、人類の活動領域は地球軌道を越えて、月面、更に深宇宙へと拡大しつつある。宇宙は科学技術のフロンティアとして、また、経済成長の推進力として、ますますその重要性を増しており、我が国の経済成長にとっても宇宙が大きな推進力になり得る。

また、小型・超小型衛星のコンステレーションの構築が進み、宇宙産業のゲームチェンジが起こりつつある。我が国の宇宙機器産業はこの動きに遅れを取りつつあり、関連技術も急速に進歩する中、我が国が戦後構築してきた宇宙活動の自立性を維持していくためには、産業・科学技術基盤の再強化は待ったなしの課題である。

こうした状況の中、経済産業省では本プログラムにより、民生分野の優れた部品・技術を活用して人工衛星等の低コスト化、高性能化、短納期化を実現すると共に、様々な産業における衛星データの利活用を促進することで、国内の宇宙産業の基盤を強化することを目指している。

2. 当省（国）が実施することの必要性

人工衛星などの宇宙システムは、我が国の重要な社会インフラであり、国の責務として戦略的な研究開発を行い、宇宙産業基盤を維持・強化することが重要。

人工衛星の開発から打ち上げ、運用には多額の費用と極めて長い期間を要することに加えて、宇宙機器・宇宙用部品は、宇宙空間という特殊な環境下で使用されるため、非常に高度な技術や高い信頼性が求められる。民間事業者が開発段階から全ての事業リスクを負担するのは困難。

一方、宇宙空間のような極限環境に使用可能な技術・製品は、他産業分野への応用も可能であり、広い波及効果が見込まれる。このため、国が基盤技術の研究開発について主体的に取組み、他産業への転用を積極的に促していくことが必要。

また、技術革新を背景として衛星画像等の衛星データの質・量が抜本的に向上しており、幅広い分野での活用が見込まれる。しかしながら、衛星画像解析に特殊なソフトウェアが必要であることなどの理由により、利用は限定的。宇宙利用の裾野を拡大し、宇宙産業全体を活性化させるために、衛星データを幅広く活用できるような開発・利用環境基盤を国が整備することが必要。

3. 複数課題プログラムの内容

1. 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業（SERVIS プロジェクト）

自動車用部品など、我が国が有する他分野の優れた技術等を活用し、低価格・高性能な宇宙用部品・コンポーネント等を開発し、人工衛星やロケット等の低コスト化を実現する。また、我が国として注力すべき宇宙用部品・コンポーネント等の開発を支援し、我が国の宇宙活動の自立性の確保及び宇宙機器産業の発展を実現する。

本事業では、以下の開発等を実施している。

1. 民生分野の技術を活用した部品・コンポーネントの事業化の際に求められる、宇宙空間での信頼性確認のため、軌道上実証への支援
2. ロケット打上げサービスの低コスト化、高機能化、短納期化等による国際競争力の強化を目指し、我が国の優れた民生部品・民生技術を活用した、性能及び価格に優れた機器及び部品、並びにその製造や運用技術の開発
3. 開発した部品・コンポーネント等の市場投入を支援するため、各種試験のワンストップ化や軌道上実証機会の拡充に向けた取組

4. 石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発事業費

HISUI は、既存のセンサに比べ、スペクトル分解能が格段に高く、より高い精度で宇宙空間から地表の物質の識別が可能なハイパースペクトルセンサである。既存の資源探査用センサ ASTER（バンド数 14）に比べバンド数が 185 と多く、例えば資源探査に必要な鉱物の識別能力では、10 種類程度から 30 種類程度の特定が可能となる。

本事業では、目標性能を達成した HISUI ハイパースペクトルセンサを国際宇宙ステーション（ISS）に搭載し、地球陸域を観測しデータを蓄積するとともに、取得されるデータを用いて利用実証を行い、宇宙用ハイパースペクトルセンサの有用性を検証するなどの宇宙実証を行うことを目的とする。

さらに、今後蓄積されるデータをより多くの国内ユーザ等が利活用し、エネルギー資源や重要資源鉱物のサプライチェーンの安定供給の確保のみならず、地球温暖化対策への貢献など地球規模の環境問題への貢献の他、多分野での効率的・効果的なデータ利活用の実現を目指す。

5. 宇宙太陽光発電における無線送受電技術の高効率化に向けた研究開発事業委託費

将来の新エネルギーシステムとして、昼夜や天候に左右されず電力の計画的供給が可能な宇宙太陽光発電システム（SSPS：Space Solar Power System）の実現が期待されており、これまで、我が国はもちろん、海外においても、様々な検討や技術開発が行われてきた。

本事業では、宇宙太陽光発電システムの中核的技術であるマイクロ波無線送受電技術に係る研究開発を実施し、当該技術の高度化を目指す。

6. 政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利用環境整備事業費

技術革新や新規参入企業の増加等を背景に、宇宙由来の様々なデータの質・量が抜本的に向上しつつあり、これら宇宙由来のデータと他の地上データが組み合わさったビッグデータに AI 解析技術等を適用することで、多くの課題に対しソリューションを提供していくことが期待されている。衛星データは、地球規模での環境を捉える環境衛星データを中心に研究機関には多くのデータがオープン&フリー化されているものの、ビジネスで利用されている陸域観測衛星データの産業利用は限定的である。理由としては、①ユーザからのリクエストベースで有償によりデータの標準処理の上、提供している点、②データ量が膨大で、一般ユーザのコンピュータではハンドリングが困難な点、③解析にあたり高価なソフトウェアが必要な点、等といったことが挙げられる。

そのため、本事業では政府衛星データ等のオープン&フリー化を進めるとともに、ユーザフレンドリーなデータプラットフォームを基盤インフラとして整備等することで、ビッグデータの1つとしての衛星データとその他のデータを組み合わせて利用するアプリケーション事業者の創出を促す。

7. 衛星データ統合活用実証事業費

宇宙産業は転換期を迎えており、平成 30 年度から実運用される準天頂衛星システムや小型衛星コンステレーション等により、宇宙由来の様々なデータの質・量が抜本的に向上していた。こうした中、これら宇宙由来のデータと他の様々な地上データが組み合わることで、様々な産業分野における課題に対し、ソリューションを提供していくことが期待されている。

こうした取り組みによる宇宙利用産業の拡大の重要性は「未来投資戦略 2017」や「宇宙産業ビジョン 2030」でも謳われており、様々な課題にソリューションや産業競争力強化につながるアプリケーションビジネスの創出が非常に重要となっている。

特に近年では、衛星データやそれ以外のデータを一つのデータプラットフォーム（以下「PF」。）上で様々な解析ツール等を用いながらアプリケーションを創出する動きが進んでおり、我が国としてもこうした PF 活用型アプリケーション創出の観点が必要となっている。

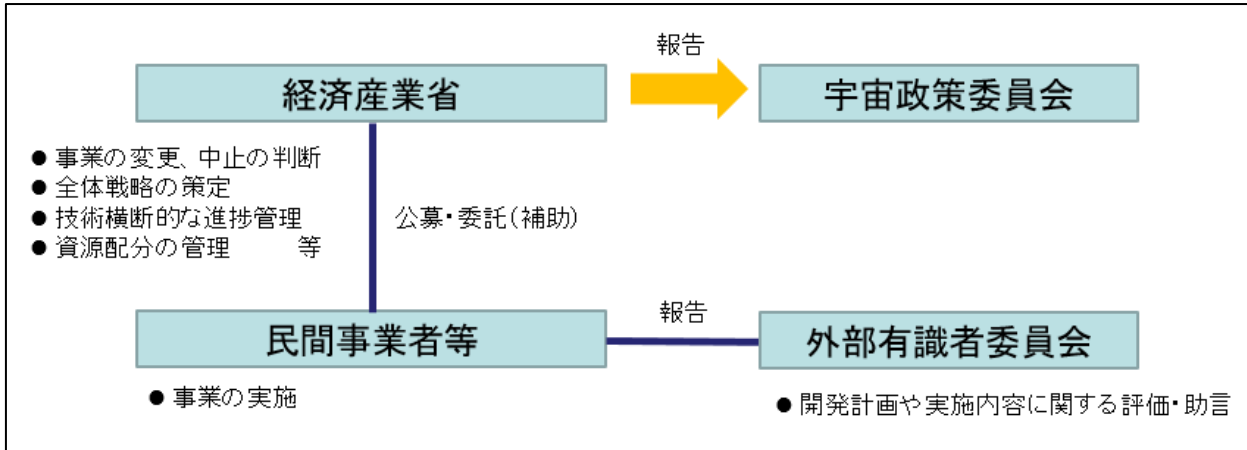
こうした状況を踏まえ、我が国の宇宙利用産業の拡大に向けて、民間企業等によるアプリケーションビジネス創出を加速する観点から、衛星データとその他の地上データと組み合わせたアプリケーションの開発・実証を進めるものであった。

4. 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等

各事業では、外部有識者等により構成される委員会を設置。同委員会を毎年度開催し、研究開発計画や実施内容に関する評価や助言を受けている。

同委員会からの指摘事項を研究開発計画や実施内容などに反映し、マネジメント体制を確保している。

さらに、各事業は宇宙基本計画工程表に反映し、宇宙政策委員会等に取り組状況を報告している。



5. 事業アウトプット

1. 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業 (SERVIS プロジェクト)

アウトプット指標・目標		達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
(中間目標) 2019年度	宇宙実証に向けた開発件数	当初の開発(採択)見込み件数3件に対し、3件の開発を実施	-
(最終目標) 2023年度	宇宙実証に向けた開発件数	当初の開発(採択)見込み件数5件(累計)に対し、5件の開発を実施予定	-
(目標の設定(変更)理由・根拠等) 宇宙実証に向けた開発件数を確保するため。			

2. 石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発事業費

アウトプット指標・目標		達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
(中間目標) 2020年度	ISS搭載への適合性、目標性能を達成したハイパースペクトルセンサHISUIの製造・試験を完了。品質確認に係る審査を実施後、打上げに供するためNASA側へ引渡し、曝露部へ搭載し、観測を開始。	達成	-
(最終目標) 2023年度	観測を3年間程度行うとともに、機能性能を確認し、宇宙実証。	石油堆積盆地域について約85~90%を観測見込み。	-
(目標の設定(変更)理由・根拠等) 世界の石油堆積盆地域について約85~90%を観測するために必要な観測期間(3年間程度)を運用するため設定。			

3. 宇宙太陽光発電における無線送受電技術の高効率化に向けた研究開発事業委託費

アウトプット指標・目標		達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
(中間目標) 2021年度	送受電部の高効率化に関する研究開発の実施(1事業/年)	達成	-
(最終目標) 2023年度	送受電部の高効率化に関する研究開発の実施(1事業/年)	-	-
(目標の設定(変更)理由・根拠等) 研究開発ロードマップに基づき抽出。			

4. 政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利用環境整備事業費

アウトプット指標・目標		達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
(最終目標) 2020年度	プラットフォームへのユーザー登録件数	20,724ユーザーの登録達成	-
(最終目標) 2020年度	プラットフォームへのユーザーアクセス件数	77,103ユーザーアクセス達成	-
(目標の設定(変更)理由・根拠等) プラットフォームの一般ユーザーの活用具合から設定。			

5. 衛星データ統合活用実証事業費

アウトプット指標・目標		達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
(最終目標) 2018年度	アプリケーションの開発件数	4件のアプリケーション開発達成	-
(目標の設定(変更)理由・根拠等) 本事業の目的であるアプリケーション開発数から設定。			

6. 事業アウトカム

1. 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業（SERVIS プロジェクト）

アウトカム指標・目標		目標達成の見込み
2019年度	民生品や他分野の部品・技術を活用した機器の累積実用化数	達成
2021年度	民生品や他分野の部品・技術を活用した機器の累積実用化数	新型コロナウイルスの感染拡大による半導体不足等の影響で、目標達成については不透明な状況
（目標の設定（変更）理由・根拠等） 本補助金は、宇宙実証に対して補助を行い、実用化を目指すものであるため。		

2. 石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発事業費

アウトカム指標・目標		目標達成の見込み
2025年度	データ利用数5400シーン、共同研究応募50件以上（論文・学会発表54件、特許出願2件）	計画通りの運用が実施できれば、達成の見込みはある。
2030年度	ハイパースペクトルデータの付加価値製品の開発と、その有償提供の開始	今後、衛星コンステレーションの運用等により、データの組み合わせによる付加価値製品開発が可能となる。
2035年度	ハイパースペクトルセンサの販売	センサの高空間分解能化、小型軽量化を実現し、小型衛星搭載化する必要あり。
（目標の設定（変更）理由・根拠等） ハイパースペクトルデータの実証を通して、将来的なハイパースペクトルデータの実用を積み上げることを目的としているため。		

3. 宇宙太陽光発電における無線送受電技術の高効率化に向けた研究開発事業委託費

アウトカム指標・目標		目標達成の見込み
2018年度	・周辺回路を含めた送電部の変換効率を40%に改善	達成（実績44.8%）
2023年度	・周辺回路を含めた送電部の変換効率を60%に改善 ・発送電一体型パネルの重量を36kg/m ² に改善	－
（目標の設定（変更）理由・根拠等） 研究開発ロードマップに基づき設定。なお、発送電一体型パネルの開発は2019年度から実施。		

4. 政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利用環境整備事業費

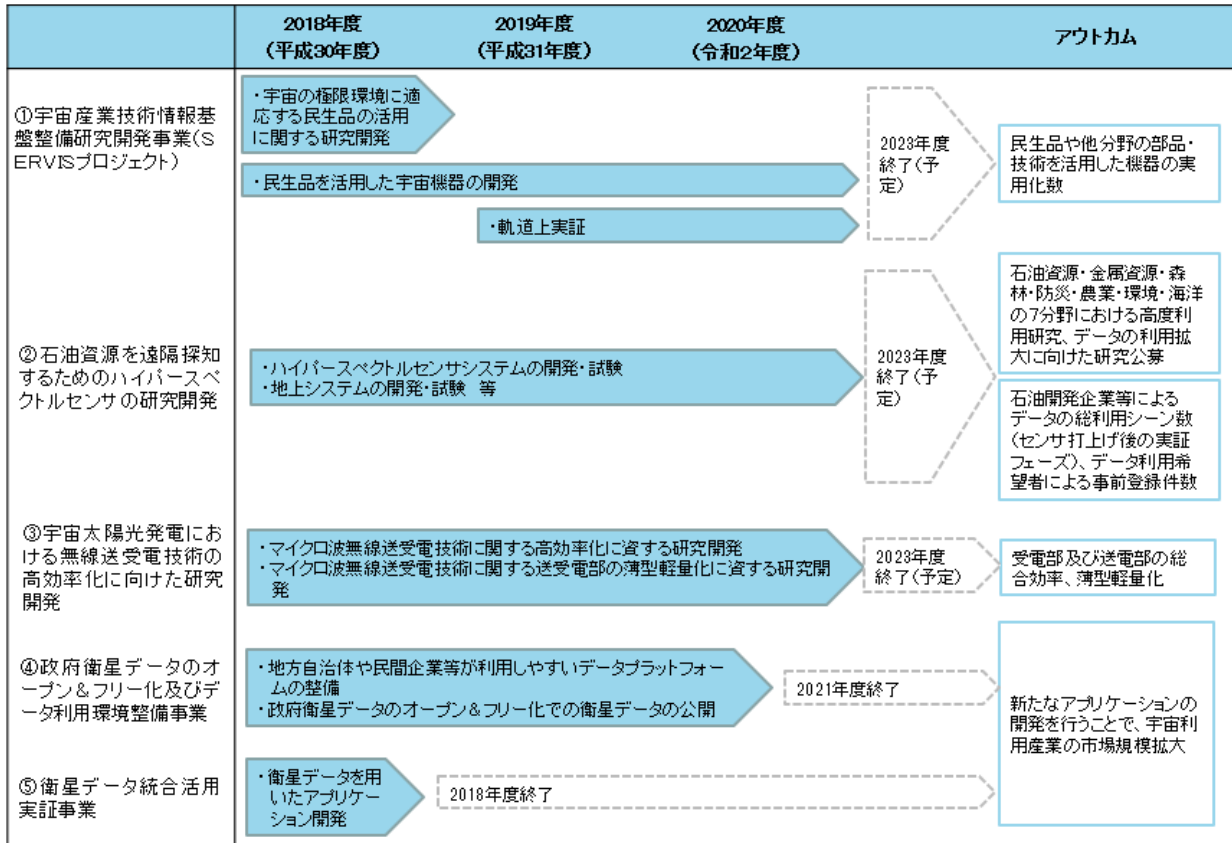
アウトカム指標・目標		目標達成の見込み
2030年代初期	宇宙利用産業の市場規模に約3400億円（約20%程度）貢献。	達成の見込み
（目標の設定（変更）理由・根拠等） 「宇宙産業ビジョン2030」（2017年5月29日宇宙政策委員会）及び平成29年度製造基盤技術実態等調査事業（ビッグデータにおける衛星データのあり方に関する調査）を元に設定。		

5. 衛星データ統合活用実証事業費

アウトカム指標・目標		目標達成の見込み
2030年代初期	宇宙利用産業の市場規模に約3400億円（約20%程度）貢献。	達成の見込み
（目標の設定（変更）理由・根拠等） 「宇宙産業ビジョン2030」（2017年5月29日宇宙政策委員会）及び平成29年度製造基盤技術実態等調査事業（ビッグデータにおける衛星データのあり方に関する調査）を元に設定。		

7. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

各事業における事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは以下の通り。



8. 費用対効果

各事業の費用対効果は以下の通り。

プロジェクト名	直近3年間の執行額 (2018年度～2020年度)	主な効果
①宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業(SERVISプロジェクト)	2018年度：約2.5億円 2019年度：約2.9億円 2020年度：約4.3億円	<ul style="list-style-type: none"> 軌道上実証事業については、実証機会への補助という形で、民間事業者の自己投資も含め、実証に向けた着実な開発を促進していることなどから、費用対効果は高い。 民生品等を活用したロケット用部品や自立飛行安全システム等の開発により、打上価格を将来的に数億円規模で低減させることが可能と考えられ、急拡大する打上需要の獲得が期待されている。 Liバッテリーは、これまでの販売数から、推定100億円の波及効果があった。また、H28年3月にはISO17546として制定。
②石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発	2018年度：約8.8億円 2019年度：約8.4億円 2020年度：約7.2億円	<ul style="list-style-type: none"> 年間300千tを生産する銅鉱山では、約3,300億円～4,400億円の初期投資額となっているが、HISUI事業の総予算額約178億円と比べても非常に大きな投資額を要する。よって、本事業の費用対効果は非常に大きいものと確認できる。
③宇宙太陽光発電における無線送電技術の高効率化に向けた研究開発	2018年度：2.5億円 2019年度：2.5億円 2020年度：2.5億円	<ul style="list-style-type: none"> マイクロ波による無線送電技術等の必要な研究開発により、宇宙太陽光発電システムを実現することで、温室効果ガスの排出量低減による地球温暖化対策や、我が国のエネルギーの安定的な確保への貢献を目指す。 本研究開発により、送電部の総合効率が35%から44.8%に向上(2018年度中間評価時)。 論文21件、特許出願13件(2018年～2020年)。
④政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利用環境整備事業	2018年度：約12億円 2019年度：約11億円 2020年度：約10億円	<ul style="list-style-type: none"> 当該プラットフォームの利用促進の観点から、単位あたりのコストを①執行額/プラットフォームへのユーザー登録件数、②執行額/プラットフォームへのユーザーアクセス件数で設定。いずれも目標値を達成。
⑤衛星データ統合活用実証事業	2018年度：1.5億円	<ul style="list-style-type: none"> 当初4件のアプリケーション開発を想定していたが、5件のアプリケーション開発を実施した。

第2章 複数課題プログラムを構成する「研究開発 課題（プロジェクト）」の概要

A-1 産業技術実用化開発事業費補助金（宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業）（軌道上実証事業）

上位施策名	①「未来投資戦略2018」（平成30年6月15日閣議決定） ②「宇宙基本計画」（令和2年6月30日閣議決定） ③「成長戦略2019」（令和元年6月21日閣議決定）						
担当課室	経済産業省製造産業局宇宙産業室						
目的	自動車用部品など、我が国が有する他分野の優れた技術等を活用し、低価格・高性能な宇宙用部品・コンポーネント等を開発し、人工衛星やロケット等の低コスト化を実現する。また、平成29年度に開催した「コンステレーションビジネス時代の到来を見据えた小型衛星・小型ロケットの技術戦略に関する研究会」の議論等に基づき、我が国として注力すべき宇宙用部品・コンポーネント等の開発を支援し、我が国の宇宙活動の自立性の確保及び宇宙機器産業の発展を実現する。 本事業では、民生分野の技術を活用した部品・コンポーネントの事業化の際に求められる、宇宙空間での信頼性確認のため、軌道上実証への支援を行う。						
類型	複数課題プログラム / 研究開発課題（プロジェクト） / 研究資金制度						
実施時期	2019年度～2023年度（5年間）	会計区分	一般会計 / エネルギー対策会計				
評価時期	事前評価：2019年度、中間評価：2021年度、終了時評価：2024年度						
実施形態	国 → 一般社団法人環境共創イニシアチブ（以下、SII）（補助1/2（中小企業等2/3））						
プロジェクトリーダー	SII 事業推進部長 井上修平						
執行額 （百万円）	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	総執行額	総予算額
	-	-	-	39	185	224	257

※2020年度は2019年度からの繰り越し分も含む（原田精機）

1. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況

国外では、NASAによる Venture Class Launch Service や ESA においても同種プログラムが存在するが、国内においては中小・ベンチャー企業等が小型衛星・小型ロケットの販路拡大に必要な軌道上実証機会を得にくいことを踏まえ、その機会拡充に取り組む趣旨に基づいて2019年度より本事業を実施している。

国内では、打上げ方法を自社で選定できる打上げ機会の提供支援策は他に類をみないと考えられる。

2. 研究開発の内容

(1) 研究開発の全体構成

当該事業における開発内容は以下の通り。

研究開発項目		実施者
①TRICOM 衛星による超小型推進系・通信装置及び軌道上高度情報処理技術の実証 【アークエッジ・スペース】 2019 年度採択	(a) 超小型推進器の実証	株式会社アークエッジ・スペース 株式会社 Pale Blue 東京大学
	(b) オンボードディープラーニングボードの実証	株式会社アークエッジ・スペース
	(c) 超小型ハイパースペクトルカメラの実証	株式会社アークエッジ・スペース 福井大学
	(d) Store and Forward LoRA 特定小電力通信の実証	株式会社アークエッジ・スペース
	(e) 超小型衛星運用におけるブロックチェーン技術利活用の実証	株式会社アークエッジ・スペース
② EDT (Electro Dynamic Tether) を用いた軌道離脱装置の開発・実証 【ALE】 2019 年度採択	(a) EDT (導電性テザー) を用いた軌道離脱装置の開発・実証	株式会社 ALE 宇宙航空研究開発機構 東北大学 神奈川工科大学
③超小型衛星の実用化・高度化のための光学系・通信系の実証事業 【HAK コンソーシアム (原田精機 (幹事)、アドニクス)】 2019 年度採択	(a) 5 m 級分解能光学系の実証	原田精機株式会社 九州工業大学 株式会社リコー
	(b) C-band 高速通信システムの実証	株式会社アドニクス
④視覚で楽しむ衛星実証プロジェクト 【ASTROFLASH】 2020 年度採択 (※2020 年度末で辞退)	(a) 衛星搭載高出力光源装置の実証	株式会社 ASTROFLASH

<p>⑤超小型宇宙利用プラットフォーム確立へ向けた実証事業 【スペースワン（幹事）、Space Cubics】 2020 年度採択</p>	(a) 複数衛星搭載構造によるク ラスタ打上げ技術実証	スペースワン株式会社 有限会社オービタルエンジニア リング 株式会社ウェルリサーチ
	(b) 非火工品小型衛星分離機構 の実証	スペースワン株式会社 川崎重工業株式会社
	(c) 3Uキューブサット放出機 構の実証	スペースワン株式会社 有限会社オービタルエンジニア リング
	(d) ロケット打上げフライトデ ザイン自動化・最適化技術の実 証	スペースワン株式会社 株式会社電通国際情報サービス 株式会社 VSN
	(e) 生産効率化技術の活用によ る即応化実証	スペースワン株式会社 株式会社電通国際情報サービス
	(f) 高信頼性・高機能かつ安価 な標準キューブサットの実証	合同会社 Space Cubics
	(g) 自動不具合復旧機能を有し た民生 SRAM ベース FPGA コンピ ュータの実証	合同会社 Space Cubics
<p>⑥車載・5G 通信を担うコンポ ーネンツで構成された大量生産 向け超小型人工衛星実証事業 【パナソニック】 2020 年度採択</p>	(a) 回路基板、電子部品、サー マルマネジメント部材、バッテ リー等電子機器コンポーネンツ の実証	パナソニック株式会社

(2) 各研究開発項目の実施内容

1. TRICOM 衛星による超小型推進系・通信装置及び軌道上高度情報処理技術の実証

実施内容：

3U キューブサットのメガ・コンステレーションに向けた衛星バスの実証及び、同 3U 衛星に搭載可能な超小型推進装置、LoRA 特定小電力通信、ハイパースペクトラルカメラ、高度情報処理技術可能なコンポーネントのグローバル市場への展開及び、ブロックチェーン、ディープラーニング技術のサービス展開を目的として、OPTIMAL-1 衛星により、軌道上実証を実施する。

2. EDT (Electro Dynamic Tether) を用いた軌道離脱装置の開発・実証

実施内容：

近年持続可能な宇宙利用に向けた世界的な問題となる宇宙デブリに対する解決策として、EDT (Electro Dynamic Tether、導電性テザー。以下、EDT) を用いた装置の開発を JAXA と共同で実施、実証・事業化を目指す。一度デブリとなってしまった人工衛星・宇宙機を回収する・軌道離脱させるためには極めて高度な技術が必要となるが、EDT は新たなデブリ発生を未然に防ぐ燃料不要の高効率な装置として、JAXA でも長きにわたり研究がされるなど、デブリ問題の根本的な解決策となることが期待されている。

3. 超小型衛星の実用化・高度化のための光学系・通信系の実証事業

実施内容：

今後、地球観測等の実用的ミッションや大容量データダウンリンクを必要とする研究・技術実験衛星にキューブサットが多用されることが予想される。

市販のレンズとカメラを 10cmx10cmx30cm の体積に納めて 5m 級の分解能をもたせた光学系と、大容量のデータ通信のための C-band を用いた 20Mbps 級通信機の軌道上実証を行う。

光学系は、国内外の宇宙産業市場への小型望遠鏡カメラの投入を目途に 6U キューブサットを用いて実証・実用に供する程度の解像度の地球観測ミッションを行いたい新興国やエンターテイメント用途などでの画像利用を考える衛星事業者等をターゲットとして搭載を働きかける。

通信機は大量のデータダウンリンク (C-band) を要とする衛星インテグレータをターゲットとする。

4. 視覚で楽しむ衛星実証プロジェクト (※2020 年度末で辞退)

実施内容：

宇宙から照射し地上観測者によって最大-2 等級相当の明るさで見えるほど高出力であり、かつ真空や放射線などの宇宙環境への耐性をもったレーザ光源装置が軌道上で設計性能を発揮することを実証する。

超小型衛星・CubeSat への搭載を想定しているので、システムでの成立性実証のためバス部に関して付随する電源制御・高精度姿勢制御・熱制御・コマンド通信による光源の制御についても実証対象となる。

5. 超小型宇宙利用プラットフォーム確立へ向けた実証事業

実施内容：

(a) 複数衛星搭載構造によるクラスター打上げ技術実証

限られた打上げ能力・フェアリング内の包絡域において、最大限効率的に超小型衛星やキューブサット衛星を混載できるような軽量の複数衛星搭載構造をスペースワンの超小型ロケットを改修し、実装する。そのうえで、軌道上で混載したキューブサット等を適切に分離できるかを実証する。

(b) 非火工品 小型衛星分離部

世界的な小型衛星の需要拡大が続くなか、小型衛星用の分離部としてデファクトスタンダードとなっている欧米製の衛星分離部は 価格、輸出入管理 (ITAR)、および火工品取扱い等の課題が顕在化している。その課題解決として、機能・性能・価格のいずれも 既製品に対し互角以上の競争力を有する非火工品方式の小型衛星用分離部の開発を進めている。衛星の需要拡大を考慮すると、十分な事業化が見込めると判断しており、その衛星分離部の飛行実証を本事業にて行う。

(c) 3U キューブサット放出機構

ISSにおけるキューブサット放出機 (J-SSOD) 開発において蓄積された設計ノウハウを改修し、ITAR フリー品で構成された低価格で最軽量の放出機を製造・試験して 小型ロケットに搭載・打上を行い、3U キューブサットの放出が設計通りに作動したかを確認する。

(d) ロケット打上げフライトデザインの自動化・最適化技術

自動化・最適化したツール・プロセスについて、実際の打上げに係るフライトデザインに使用し、既存の解析結果や実際のフライトデータとの比較を行うことで、フライトデザインの期間短縮効果、打上げ能力の引き出し、フライトデザインの形式知化等が可能か確認を行う。

(e) 産効率化技術の活用による即応化実証

運用効率化システムの実装及び効果の検証 (ロケット生産・打上げ作業等に係る期間、及び人工の縮減)、これを踏まえた実運用の実現妥当性の確認

(f) 高信頼性・高機能 かつ安価な標準キューブサットキット

C&DH 系:実証機器「SRAM ベース FPGA を用いた宇宙用コンピュータ」にて実証
姿勢制御系: 他メーカーで開発中の新型 IMU/リアクションホイールを調達し実証
構造系: 従来よりも安価な構体を新規設計・開発し実証

(g) 自動不具合復旧機能を有した民生 SRAM ベース FPGA コンピュータ

民生/産業用途 SRAM ベース FPGA を用いた宇宙用コンピュータの軌道上長期運用デー

タ取得

宇宙用コンピュータの軌道上コンフィギュレーション変更

FPGA ロジックによる大容量データ処理デモ

6. 車載・5G通信を担うコンポーネンツで構成された大量生産向け超小型人工衛星実証事業

実施内容：

主としてパナソニックが民生機器や車載機器で活用の進む部材、コンポーネントを搭載した超小型人工衛星を打ち上げ、宇宙空間での信頼性の確認と機器動作の実証実験を行う。

衛星バス部の基本性能向上を実現する技術実証を行う。大量生産を見据えた民生機器で培った開発プロセスを適用し、開発の短リードタイム化、信頼性検証を実施。

3. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) 研究開発計画

2019年度から本補助事業を開始。採択プロジェクトとしては2019年度3件、2020年度3件となっている。

本事業我では国の中小・ベンチャー企業等の民生分野の優れた技術を活用した低価格・高性能な宇宙用部品・コンポーネントが、国内外の小型衛星市場に参入し、国内の宇宙機器産業の持続的な発展を促すため、宇宙用部品・コンポーネントの軌道上での実証事業の支援を行うもの。

そのため、2019年度採択案件は2021年度の実証、2020年度採択案件は2023年度の実証、その後のビジネスベースでの販売を目指し開発・実証を実施している。

それぞれのプロジェクトにおける開発スケジュールは以下の通り。

<開発スケジュール>

開発スケジュール		2019	2020	2021	2022	2023
①アークエッジ・スペース TRICOM衛星による超小型推進系・ 通信装置及び軌道上高度情報処理技 術の実証	詳細設計	EM改良・試験				
	維持設計		FM製造	FM試験		
	打上・運用			FM試験	打上	
②ALE EDT (Electro Dynamic Teather) を用いた軌道離脱装置の開発・実証	詳細設計・開発	EM設計・開発	FM詳細設計・開発			
	試験			FM各種試験		
	移送・打上			FM移送	実証	
③原田精機 (幹事) アドニクス 超小型衛星の実用化・高度化のため の光学系・通信系の実証事業	概念・詳細設計	EM設計	FM仕様検討			
	組立・統合	EM開発	試験	FM開発	試験	
	試験・打上・運用・ データ分析				FM実証	
④ASTROFLASH 視覚で楽しむ衛星実証プロジェクト	概念検討	2020年度末で辞退のため、 記載無し				
	衛星詳細設計					
	打上・運用					
⑤スペースワン (幹事) Space Cubics 超小型宇宙利用プラットフォーム確 立へ向けた実証事業	調達・改修設計	ロケット側 キューブサット側	I/F調整・試験 宇宙用コンピュータに関する調達・改修設計			
	製作・試験		ロケット側 キューブサット側	機体製造・試験 FM製作・試験	FM仮組・最終製作	試験
	衛星組立・打上		ロケット側 キューブサット側	打上事前協議		打上・実運用 運用
⑥パナソニック 車載・5G通信を担うコンポーネン ツで構成された大量生産向け超小型 人工衛星実証事業	衛星概念設計		BBM設計			
	衛星組立・統合・試験			EM組立・試験	FM組立・試験	FM試験
	試験・打上・運用					打上・運用

(2) 資金配分

<資金配分推移表 (単位: 百万円)>

	2019	2020
①TRICOM 衛星による超小型推進系・通信装置及び軌道上高度情報処理技術の実証	9	13
②EDT (Electro Dynamic Tether) を用いた軌道離脱装置の開発・実証	16	20
③ 超小型衛星の実用化・高度化のための光学系・通信系の実証事業	23 (原田精機:14 アドニクス:9)	23 (原田精機:10 アドニクス:13)
④視覚で楽しむ衛星実証プロジェクト (※2020 年度末で辞退)	-	2
⑤超小型宇宙利用プラットフォーム確立へ向けた実証事業	-	80
⑥車載・5G 通信を担うコンポーネンツで構成された大量生産向け超小型人工衛星実証事業	-	33

※全て補助。

中間・終了時評価、ステージゲート評価等の時期

開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期
2019年度	2023年度	2021年度	2024年度

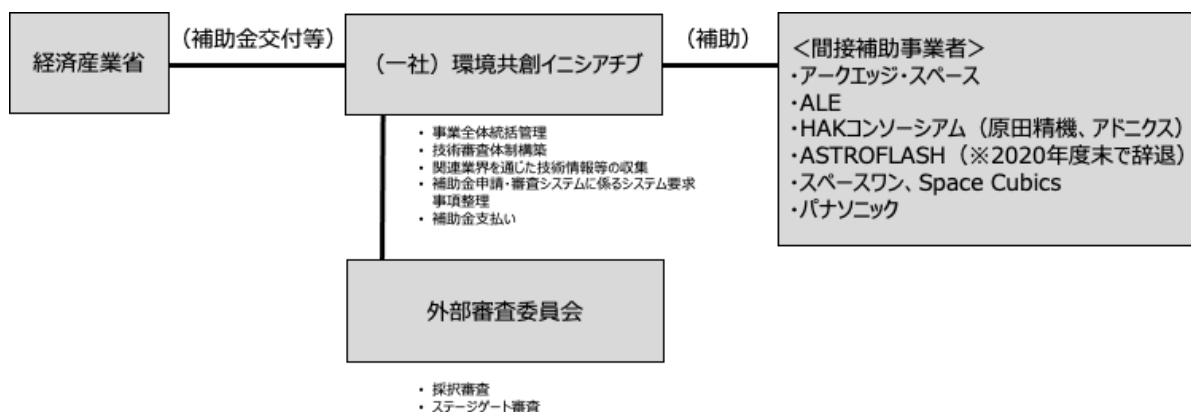
※ステージゲート審査は毎年度末に外部審査委員会にて実施 (2020 年度採択事業から実施)。

(3) 研究開発の実施・マネジメント体制

事業の体制を以下に示す。

本事業は、SII が経済産業省から補助金交付を受け、SII において公募、外部審査委員会での審査、採択決定を行う形で実施している。

ステージゲート審査については、外部審査委員に当該年度の各事業者の開発進捗状況、次年度以降の開発計画等を報告の上、事業を進める上での留意点等のコメントをもらい、次年度 of 事業計画に反映させた上で開発を進めている。



(4) 知財や研究開発データの取扱い

現在実証を行っている段階であり知財戦略、データの取扱いについて一般的な研究開発事業同様の記載とすることは難しいが、開発過程において知的財産を獲得する場合においては出願等行うことが考えられ、2021 年度においては 3 件出願予定としている。

4. 事業アウトプット

(1) 研究開発目標

研究開発項目	中間目標 (2019 年)	最終目標 (2023 年)	設定 (変更) 理由
宇宙実証に向けた開発件数	当初の開発 (採択) 見込み件数 3 件に対し、3 件の開発を実施。	当初の開発 (採択) 見込み件数 5 件 (累計) に対し、5 件の開発を実施予定。	宇宙実証に向けた開発件数を確保するため。

(2) 研究開発の成果

研究開発項目	最終目標 (2023 年度)	成果・意義	達成状況	未達の原因分析/今後の見通し
宇宙実証件数	宇宙実証を行い、設定した KPI を達成する。	目標とする性能を、宇宙実証することで、国内外での販売につながる。	—	達成できる見込み。

(3) 活動指標

年度	論文数	国内特許出願	国外特許出願	PCT 出願
—	—	1 (ASTROFLASH: P6962626)	—	—

国際標準への寄与
—

プロトタイプの実証
—

5. 事業アウトカム

(1) 事業アウトカムの内容

本事業は、自動車用部品など、我が国が有する他分野の優れた技術等を活用し、低価格・高性能な宇宙用部品・コンポーネント等を開発することで人工衛星やロケット等の低コスト化を実現を目指すもの。

そのため、民生分野の技術を活用した部品・コンポーネントの事業化の際に求められる宇宙空間での信頼性確認のため、軌道上実証への支援を行うものであり、当該部品・コンポーネントが実用化されることで宇宙機器産業の発展を目的としている。

(2) 事業アウトカム目標

アウトカム目標		目標の設定理由	目標達成の見込み
2021年	令和3年度までに民生品や他分野の部品・技術を活用した機器を累積5件実用化する	本補助金は、宇宙実証に対して補助を行い、実用化を目指すものであるため。	新型コロナウイルスの感染拡大による半導体不足等の影響で、目標達成については不透明な状況。

各事業の実用化目標は以下の通り。

	実用化目標
①TRICOM 衛星による超小型推進系・通信装置及び軌道上高度情報処理技術の実証	2021年度5件実用化を目指す。
②EDT (Electro Dynamic Tether) を用いた軌道離脱装置の開発・実証	2021年度1件実用化を目指す。
③超小型衛星の実用化・高度化のための光学系・通信系の実証事業	2021年度2件実用化を目指す。
④視覚で楽しむ衛星実証プロジェクト (※2020年度末で辞退)	-
⑤超小型宇宙利用プラットフォーム確立へ向けた実証事業	2023年度7件実用化を目指す。
⑥車載・5G通信を担うコンポーネンツで構成された大量生産向け超小型人工衛星実証事業	2023年度1件実用化を目指す。

6. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

開発スケジュール		アウトカム					
		2019	2020	2021	2022	2023	
①アークエッジ・スペース TRICOM衛星による超小型推進系・通信装置及び軌道上高度情報処理技術の実証	詳細設計	EM改良	試験		新興国等への販売	コンステレーションへの展開	
	維持設計		FM製造	FM試験		量産体制の構築	
	打上・運用			FM試験・打上			
②ALE EDT (Electro Dynamic Teather) を用いた軌道離脱装置の開発・実証	詳細設計・開発	EM設計・開発	FM詳細設計・開発		小型衛星事業者への販売	デブリ抑制ルール化、量産体制の構築	
	試験			FM各種試験			
	移送・打上			FM移送・実証			
③原田精機 (幹事) アドニクス 超小型衛星の実用化・高度化のための光学系・通信系の実証事業	概念・詳細設計	EM設計	FM仕様検討		教育機関・新興国等への販売	(光学系) 民間事業者への販売	
	組立・統合	EM開発	試験	FM開発		試験	(通信系) Xバンド対応型の展開
	試験・打上・運用・データ分析					FM実証	
④ASTROFLASH 視覚で楽しむ衛星実証プロジェクト	概念検討	2020 年度末で辞退のため、 記載無し					
	衛星詳細設計						
	打上・運用						
⑤スペースワン (幹事) Space Cubics 超小型宇宙利用プラットフォーム確立へ向けた実証事業	調達・改修設計	ロケット側 キューブサット側	I/F調整・試験 宇宙用コンピュータに関する調達	改修設計		宇宙輸送サービスに実装、打上げ事業への販売	
	製作・試験		ロケット側 キューブサット側	機体製造・試験 FM製作・試験 FM仮組・最終製作・試験		宇宙用コンピュータおよびキューブサット運用の実証市場への展開のためのデータ採取	
	衛星組立・打上		ロケット側 キューブサット側	打上事前協議		打上・実運用 運用	
⑥パナソニック 車載・5G通信を担うコンポーネンツで構成された大量生産向け超小型人工衛星実証事業	衛星概念設計		BBM設計				
	衛星組立・統合・試験			EM組立・試験	FM組立・試験	FM試験	
	試験・打上・運用					打上・運用 既存取引先・ベンチャー等への販売、量産体制の構築	

7. 費用対効果

2019～2020年度で総額224百万円の国費を投入しており、今後2023年度まで事業を継続予定。

これまで採択予定件数を越える応募の中から、宇宙機器産業の発展等への貢献が期待される民生技術等を活用した開発・実証を採択しており、必要な国費の投入によって、実証に向けた着実な開発を進めている。

主に2021～2023年度の実証によってミッション機器、小型衛星バス、小型ロケットが実用化を実現し、実証されたコンポーネントを活用する小型衛星事業者や小型衛星バスを複数活用したコンステレーションビジネスの構築者、小型ロケットを活用した宇宙輸送サービスの利用者等への販路拡大、ひいては、我が国の宇宙活動の自立性の確保及び宇宙機器産業の発展の実現に貢献できると考えている。

実証機会への補助という形で、民間事業者の自己投資も含め、実証に向けた着実な開発を促進しており、また、これまで実績のある海外事業者の製品を活用するしか手段がなかった分野においても国内事業者との取引が可能となることで、国内でのさらなる宇宙産業の発展が期待できることから、費用対効果は高いと考えている。

A-2 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業（民生品を活用した宇宙機器の軌道上実証）

上位施策名	①「未来投資戦略2018」（平成30年6月15日閣議決定） ②「宇宙基本計画」（平成28年4月1日閣議決定）						
担当課室	経済産業省製造産業局宇宙産業室						
目的	<p>宇宙空間における、高放射線等の過酷な環境で使用する機器には、耐環境性の保証された宇宙用の電子部品等が使用されている。しかし、宇宙部品等は、一般に商用部品として使用されている電子部品等と比較し、高価でかつ長納期、低機能であり、宇宙環境で使用する機器等の低コスト化、短納期化、小型化、高機能化を妨げる要因となっている。その結果、ロケット等の長納期化、高コスト化を引き起こしている。</p> <p>本事業においては、ロケット打上げサービスの低コスト化、高機能化、短納期化等による国際競争力の強化を目指し、我が国の優れた民生部品・民生技術を活用した、性能及び価格に優れた機器及び部品、並びにその製造や運用技術の開発を行う。特に、今後、市場の拡大が見込まれ、国際的な開発競争が進む超小型衛星用ロケットシステムの実現へ向け、その国際競争力の強化に資する、低コスト化につながる研究開発を行う。</p>						
類型	複数課題プログラム / 研究開発課題（プロジェクト） / 研究資金制度						
実施時期	2015年度～2020年度（6年間）	会計区分	一般会計 / エネルギー対策会計				
評価時期	事前評価：2015年度、中間評価：2018年度、終了時評価：2021年度						
実施形態	国 → 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（委託） → 企業等（再委託） 国 → インターステラテクノロジズ（委託）						
プロジェクトリーダー	なし						
執行額 (百万円)	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	総執行額	総予算額
	218	170	212	252	245	1,314	1,315

1. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況

米国による自律飛行安全の実装について、米国においては従来地上設備からの無線で行っていた飛行安全を自律飛行安全に切り替える動きが顕在化している。政府機関（NASA・USAF・DARPA）の支援もあり、既にスペースX社のロケットでは実装されており、飛行安全にかかわる人員や費用の半減等のメリットが報告されている。

小型ロケットについては主に米国企業が開発を先行させており、Rocket Lab社、Virgin Orbit社、Firefly Aerospace社（いずれも米国）などが挙げられる。いずれも打上費用は約5百万～12百万米ドル（報道ベースの予定価格）とこれまでの大型ロケットの数分の一程度にまで価格を低減させることを目指しており、衛星の小型化に伴う打上需要の取り込みに関して国際競争が活発化している。Rocket Lab社のElectronロケットは2018年11月に商業打ち上げを成功させ、小型ロケット市場をリードしている状況。

2. 研究開発の内容

(1) 研究開発の全体構成

研究開発項目		実施者
①自律飛行安全システムの研究開発 【JAXA】	(a) 自律飛行安全ソフトウェアの研究開発	JAXA
	(b) 自律飛行安全ハードウェアの研究開発	スペースワン株式会社
	(c) 将来を見据えた萌芽的研究	JAXA
②量産化を見据えた小型液体ロケットエンジンシステムの開発 【インターステラテクノロジズ株式会社】	(a) 軌道投入機用小型液体ロケットエンジンシステムの要素開発	インターステラテクノロジズ株式会社
	(b) 軌道投入機用小型液体ロケットエンジンシステムの統合試験	インターステラテクノロジズ株式会社
③量産化を見据えた小型液体ロケット機体製造技術開発 【インターステラテクノロジズ株式会社】	(a) 機体製造技術の要素試験及びサブスケール試験	インターステラテクノロジズ株式会社
	(b) 機体製造技術の実スケール試験	インターステラテクノロジズ株式会社

(2) 各研究開発項目の実施内容

① 自律飛行安全システムの研究開発

自律飛行安全システムは、従来地上で人の判断で行っていた飛行安全機能を機体上で自律的に実施するものであり、飛行状態と機体情報を機体上で計測し、飛行中断判定基準に抵触するかを、機体上で計算・判定する。飛行中断判定基準に抵触する場合は、飛行中断指令を自ら自律的に発し、中断動作を実行する。現行の飛行安全システムと自律飛行安全システムを比較した概要を以下図1に示す。

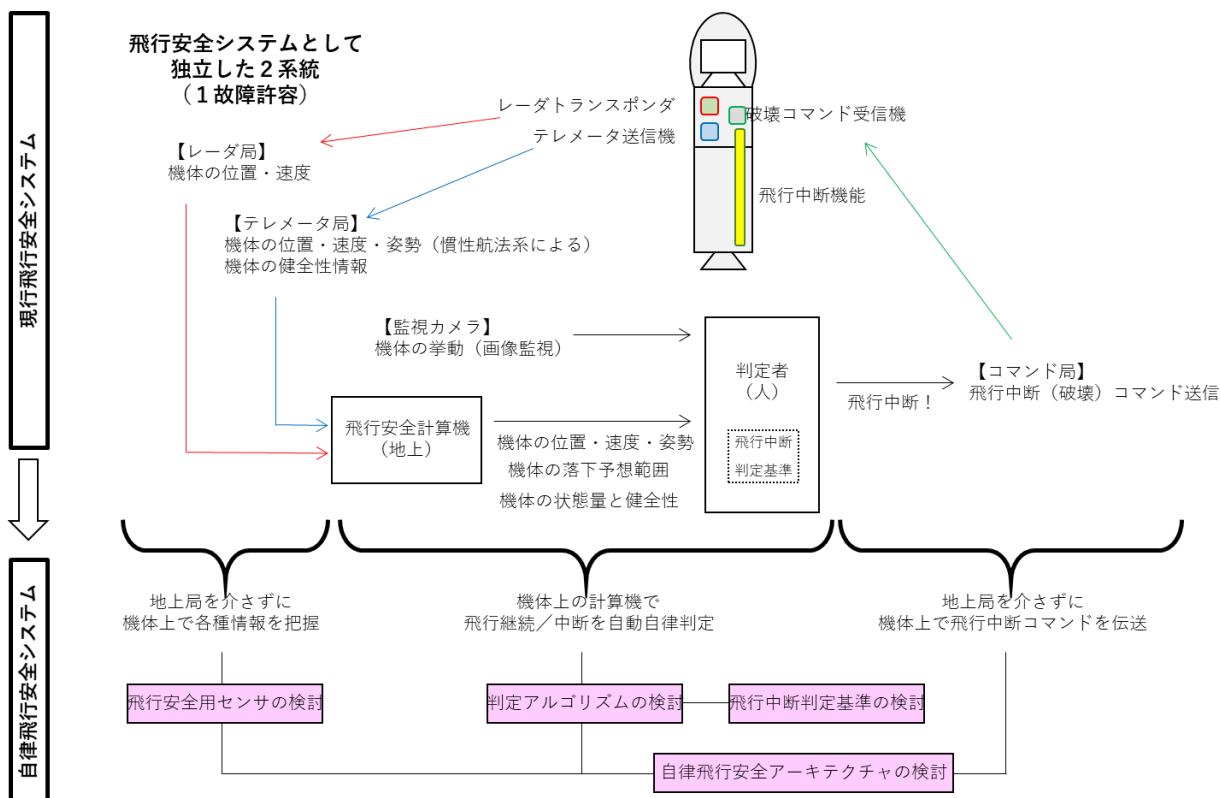


図1 自律飛行安全システムの概要図

本事業では、新規打上げ事業者及び JAXA の基幹ロケットへの適用による、ロケットの国際競争力の強化及び公共の安全確保のための安全性/信頼性の高い飛行安全技術の確立を目指し、自律飛行安全ソフトウェアとハードウェアの開発と、それらを組み合わせたシステムの地上実証を実施し、自律飛行安全ソフトウェア及びハードウェアの開発を完了した。また、将来的な萌芽的研究として、高度な評価指標を用いた機体健全性モニタ機能の研究を進めることで、自律飛行安全システムの導入時における拡張性・機体適合性の向上や高精度化を目指した。計画の全体図と本事業のアウトプットの適用シナリオを以下図2に示す。

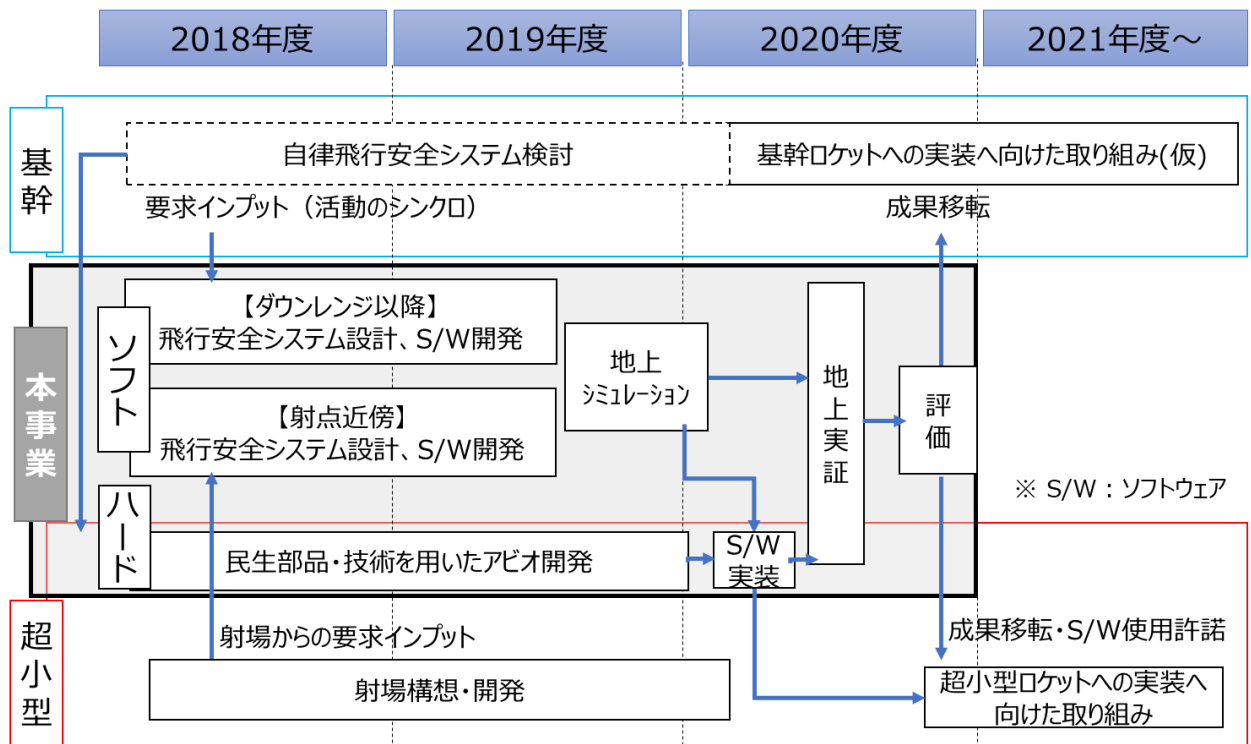


図2 計画の全体図と本事業のアウトプットの適用シナリオ

また、具体的な研究開発内容については、次の(a)～(c)に示す。

1. 自律飛行安全ソフトウェアの研究開発

以下の5つの機能で構成される自律飛行安全システムの動作のために必要な、自律飛行安全管制ソフトウェア（AFTSW）と地上解析ソフトウェア（ALSS）を開発した。

AFTSWは計算能力の低いロケット搭載計算機で飛行安全管制を行う必要があるため、処理負荷の小さい自律飛行安全管制アルゴリズムを開発し、AFTSWに設定する管制判断基準をALSSにて事前に地上で解析する仕組みを構築した。

またAFTSWの検証として、異常飛行経路シミュレーションや基幹ロケットのフライトデータによるソフトウェア検証及び第三者検証等を実施し、ソフトウェアの信頼性向上を実施した。

開発過程においては、安全確保に関する考え方の整理や、自律飛行安全システム構想の設定、自律飛行安全運用シナリオの設定、実証方法の検討を含むシステム検証・実証を実施した。

1. 自律飛行安全管制システム

ロケットのフライトデータを処理し、飛行安全管制（飛行中断判断）を行い、飛行中断基準に抵触した際に飛行中断指示を行うシステム

2. 位置速度計測システム

ロケットの位置速度を計測し、自律飛行安全管制システムに伝送するシステム（電波航法機器、慣性センサ計算機、そのためのアンテナ/電源等）

3. 飛行中断システム

自律飛行安全管制システムからの指示に基づき、ロケットの飛行を中断するシステム（例：指令破壊、推力停止、そのための火工品/電源等一式）

4. 機体監視システム

ロケット各機器（航法誘導系/推進系/姿勢制御系等）作動状態を計測し、自律飛行安全管制システムに伝送するシステム

5. 自律監視システム

自律飛行安全システムの動作状況及び飛行中断時/分離物落下域逸脱時の関係機関への通報のために必要な情報を地上に送信するためのシステム（送信機、地上局等）

2. 自律飛行安全ハードウェアの研究開発

システム要求、インタフェース仕様に基づき、前項に示す自律飛行安全ソフトウェアを実装する搭載計算機的设计開発を行った。搭載計算機のハードウェア製作と検証を行い、計算機としての開発を完了した。加えて、自律飛行安全共通ソフトウェアと搭載計算機とのインタフェース、機体固有部分とのインタフェースをつなぐ固有ソフトウェアの製作・試験を実施し、ソフトウェア単体としても完成した。

3. 将来を見据えた萌芽的研究

自律飛行安全の高度化に向けた先行研究として、機体健全性モニタ機能の高度化を実施した。自律飛行安全における機体の健全性評価は、機体システム固有の様々なセンサ類やデータとインタフェースをとりつつ、飛行安全判断に必要な総合的な評価（正常/異常）が要求される。自律飛行安全システムと機体固有のセンサとの間のインタフェースを成立させる、高度な評価指標を用いた機体健全性モニタ機能の研究を進めることで、自律飛行安全システムの導入時における拡張性・機体適合性の向上や高精度化を目指す。具体的には、機体健全性判断ロジックの詳細について検討を行うとともに、原理検証の実施・評価を行った。

自律飛行安全システムの導入には以下のメリット、デメリットが存在する。

ただし、デメリットよりもメリットの方が充分上回ると考えており、今後自律飛行安全機器の低コスト化、小型化/機器統合、及び自律飛行安全システム技術の向上によってデメリットは払拭されるものである。

自律飛行安全のメリットについて下記に記す。

(a) コストメリット

飛行安全のための地上設備の大半が不要となり、設備運用や設備維持の費用が大幅に低減される。また、特に新規射場でのビジネスを検討する超小型ロケット事業者にとっては、地上設備の新規整備コストの負荷が相対的に大きく、地上設備初期投資費用の削減効果は大きい。その他、打上げ前・打上げ時の飛行安全にかかわる作業人員も削減可能である。

(b) ロケットシステムに関するメリット

地上のコマンド局の位置に左右されない最適なロケットの飛行経路が設定できるため、打上げ能力が向上し得る。地上局を用いる飛行安全運用で飛行経路の設定の制約となっていたモデルケースでの検討では、現状に比べ10%程度の打上げ能力の向上が見込まれている。その他、完全な自律飛行安全システムが実現した場合、コマンド受信機といった一部の機器が不要となることによる打上げ能力の向上も見込まれる。また、打上げ前に実施する飛行安全管制要員の

訓練や地上設備の打上げ前点検作業の削減により、打上げ間隔を短くすることができ、高頻度打上げが可能となる。

(c) 飛行安全に関するメリット

地上からの人による管制から自律化することで、複数機体（例：再使用機体の各段）の同時飛行安全管理への対応や、人では対応困難な管制への対応、判断時間短縮による破片落下範囲の縮小、管制要員による誤判断リスクの低減等様々なメリットが得られる。

また、自律飛行安全技術を高度化することにより、機体異常時の輸送機喪失の回避への貢献、飛行予測/リアルタイム安全評価等により輸送機打上げ時の地上に対する安全性の向上、軌道上重要物体/デブリ等への衝突も考慮した軌道上での安全確保といった発展も期待される。

自律飛行安全のデメリットについては、次のとおり。

(a) コストデメリット

自律飛行安全搭載計算機及び自律飛行安全運用費による打上げ費が存在するため、広く普及させるには低コスト化が必要である。また開発費として自律飛行安全システム及びシステムインテグレートに関わる費用が必要であり、地上/衛星局は少なくとも1局は必要という情勢であることから、トータルコストとしてメリットを大きく引き出すためには、搭載計算機、地上/衛星局、打上げ運用等の低コスト化（機器統合や衛星局活用等）も併せて必要となる。

(b) ロケットシステムに関するデメリット

自律飛行安全搭載計算機が追加となることで、質量増加や搭載機器増加によるデメリットは存在する。そのため、広く普及させるためには小型化/機器統合等が有効である。

(c) 飛行安全に関するデメリット

本開発では簡素な判定ロジックを採用しているため、安全性/ミッション達成の観点で改善の余地がある。（例：地上管制の方が柔軟のある総合判断ができるため、ミッションが救えるケースが増えたり、安全上より適切なタイミングで飛行中断ができたりする。）これはより高機能な判定機能、アルゴリズムの開発を行うことで、より高度な判断や誤判断を防ぐことが可能である。

②量産化を見据えた小型液体ロケットエンジンシステムの開発

宇宙ロケットの商業化を加速させるため、既存のロケットエンジンと比べて安価で量産可能な小型液体ロケットの各要素と統合システムを開発および地上燃焼試験で実証する。開発の概要及びアウトプットについて図3に示す。

研究開発項目② 量産化を見据えた小型液体ロケットエンジンシステムの開発



図3 量産化を見据えた小型液体ロケットエンジンシステムの開発

本研究開発項目では、宇宙ロケットの商業化を加速させるため、安価で量産可能な小型液体ロケットである推力 60kN 級ロケットエンジンシステムの要素技術開発及び統合システム開発と地上燃焼試験を実施する。

具体的には、燃焼器については電鍍法からフローフォーミング法に、ガス発生器について鋳造から積層造形法に生産技術の変更を行い、価格と時間コストの低減を図った。

また、アウトプット指標としては、上記要素技術の開発と地上での燃焼試験の実施としており、実機への適用が可能であることを実証した。

③量産化を見据えた小型液体ロケット機体製造技術開発

衛星打上用ロケット向けの低コストで量産可能な機体製造技術を開発する。開発の概要及びアウトプットについて図4に示す。

研究開発項目③ 量産化を見据えた小型液体ロケット機体製造技術開発

○研究開発目的
宇宙ロケットの商業化を加速させるため、低コストなロケット機体製造技術を開発。

衛星打上用ロケット用の低コストで量産可能な機体製造技術を開発。

以下のロケット機体の設計および製造に必要な基本データ、生産技術、検査手法を開発した。

- FSW（摩擦拡散接合）技術
- 実機大のタンク製造技術
- CFRP技術
- CFRP/アルミ接合部技術



個別要素技術	アウトプット指標・目標値	達成状況（実績値・達成度）	原因分析（未達成の場合）
<ul style="list-style-type: none"> ・FSW技術 ・CFRP技術 ・CFRP/アルミ接合部 ・実機大製造技術 	民生技術を活用した軌道投入用ロケットエンジンの各要素技術を開発し、地上での燃焼試験の実施。	各技術について製造・評価し、実機運用可能なことを実証済み	-

図4 量産化を見据えた小型液体ロケット機体製造技術開発

本研究開発項目では、宇宙ロケットの商業化を加速させるため、ロケット機体の設計及び製造に必要な基本データ、生産技術、検査手法の開発を行う。

具体的には、摩擦拡散接合技術や実機大のタンク製造技術、CFRP技術、アルミ接合部技術の開発を行う。

また、アウトプット指標としては、上記要素技術の開発と地上での燃焼試験の実施としており、各技術について製造・評価を行い、実機への適用が可能であることを実証した。

3. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) 研究開発計画

	2015年度	2016年度	2017年度
①民生品を適用したロケットモータ、ノズル材料の研究開発	レーザー加工成形手法の基礎的な検討 ノズル形状アフォーム成形手法の検討 平板形状CFRPによる製作条件の最適化	小型モータケースの試作試験 ノズル形状ライナ試作試験	
②民生技術（人工筋肉）を転用した固体推進薬の製造技術に関する研究開発		固体推進薬連続製造装置の試作機の製作および運用テスト	固体推進薬の地上燃焼試験
③民生技術（イオン液体）を利用した低毒性液体推進薬の研究開発	推進薬組成の検討 レーザー点火方式の検討	スラスタ燃焼試験の準備	スラスタ燃焼試験の実施
④飛行安全系の搭載機器及び関連装置の開発	飛行安全搭載機器及び地上設備の開発	SS-520 4号機による飛行実証	SS-520 5号機による軌道上実証
⑤実用超小型衛星（3U-CubeSat）の研究開発	超小型衛星TRICOM-1の開発	SS-520 4号機による飛行実証	超小型衛星TRICOM-1Rの開発 SS-520 5号機による軌道上実証
⑥工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットエンジンの研究開発	炭化水素系液体ロケットエンジンの燃焼器の開発	軌道投入用ガス発生器およびポンプ・タービンの要素開発	観測ロケットMOMOにより実証・実用化

	2018年度	2019年度	2020年度
①自律飛行安全システムの開発	自律飛行安全ソフトウェア・搭載計算機・地上解析ツールの開発 機体健全性モニタ機能の高度化研究		自律飛行安全システムの地上実証
②量産化を見据えた小型液体ロケットエンジンシステムの開発	軌道投入機用小型液体ロケットエンジンシステムの要素開発	軌道投入機用小型液体ロケットエンジンシステムの統合試験	
③量産化を見据えた小型液体ロケット気体製造技術開発	機体製造技術の要素試験及びサブスケール試験	機体製造技術の実スケール試験	

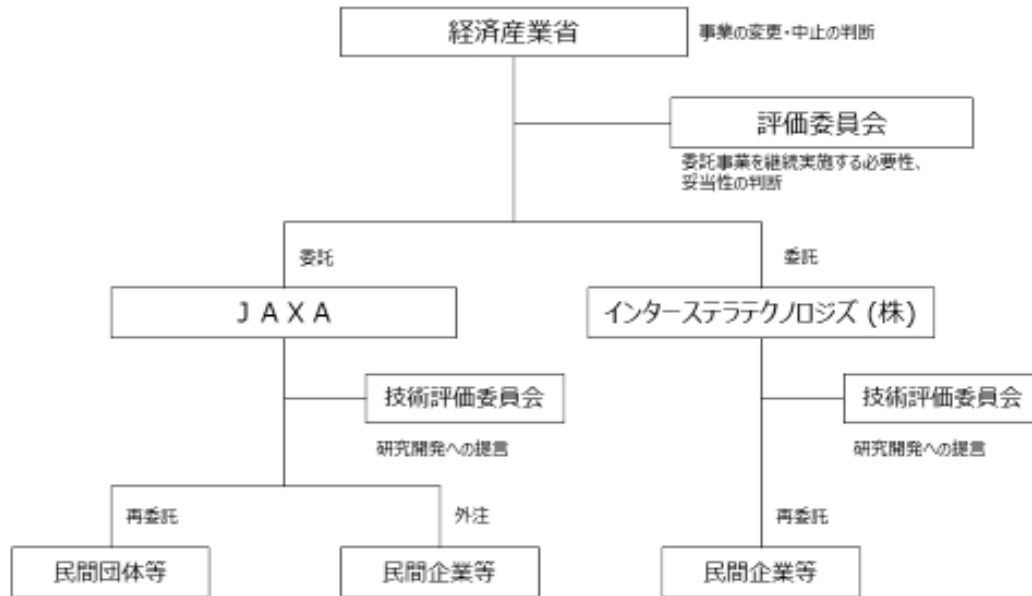
(2) 資金配分

実施者	研究開発項目	2015年度	2016年度	2017年度	3年計
JAXA	①工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットモータの開発 ②民生技術（人工筋肉）を転用した固体推進薬の製造技術の開発 ③民生技術（イオン液体）を利用した低毒性液体推進薬の開発 ④飛行安全系の搭載機器及び関連装置の開発 ⑤実用超小型衛星(3U-CubeSat)の開発	199	200	152	551
インターステラテクノロジー株式会社	⑥工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットエンジンの開発	18	18	18	54
合計		217	218	170	605

実施者	研究開発項目	2018年度	2019年度	2020年度	3年計
JAXA	①-1 自律飛行安全ソフトウェアの研究開発 ①-2 自律飛行安全ハードウェアの研究開発 ①-3 将来を見据えた萌芽的研究 ①-4 その他（謝金等）	153.3 7 21.4 0.3	182.2 3 14.6 0.2	178.3 9.6 4 0.1	513.8 19.6 40 0.6
インターステラテクノロジー株式会社	②量産化を見据えた小型液体ロケットエンジンシステムの開発 ③量産化を見据えた小型液体ロケット気体製造技術開発	21.8 8.2	43 9	45.4 7.6	110.2 24.8
合計		211.9	252.5	245.0	709.4

(3) 研究開発の実施・マネジメント体制

本事業は、2015年度から2017年度までの事業に引き続き、2018年度から2020年度まで、公募による選定審査手続きを経て、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構及びインターステラテクノロジー(株)が経済産業省からの委託契約を基に実施した。



(4) 知財や研究開発データの取扱い

1. 共同研究開発相手方のスペースワン社と「ロケット打上げにおける自律飛行安全の研究開発に関する協力に係る知的財産権及び研究開発データの取扱いに関する合意書」を締結。
2. 研究開発データに関しては、データマネジメントプランに従う。自律飛行安全技術は我が国の安全保障に関わる機微な技術であるため、プロジェクト参加者間のみで共有・利活用する。ただし、我が国のロケットシステムの飛行安全システムの自律化に有益でかつ機微技術の扱いが可能と管理者が判断する限りにおいては、自律飛行安全ソフトウェア本体の第三者への提供を妨げない。
3. 上記に関連して、自律飛行安全ソフトウェアについては、利用希望者と有償の利用許諾契約を締結して対応する。

4. 事業アウトプット

(1) 研究開発目標

超小型衛星の打上げ需要の増加を見据え、我が国の優れた民生部品・技術等を活用して、低コストな商業用超小型衛星打上げシステムの実現に向けたロケット用機器・部品及び民生品を適用した実用超小型衛星の研究開発・軌道上実証を実施する。

研究開発項目	中間目標 (2018年～2019年)	最終目標 (2020年)	設定(変更) 理由
①安全確保に関する考え方の整理	自律飛行安全特有の抽出されるハザードを解析する。これに対するハザード制御方法の案を策定する。また、解析・運用シナリオを作成する。	ソフトウェア地上検証の成果を取り込みつつ、打上げの際に必要な解析・運用の作業項目、スケジュール等について検討し、整理する。	進捗に合わせ、作業項目を具体化
②自律飛行安全システムリファレンス構想の設定	基幹ロケットの飛行安全システム設計をベースとした自律飛行安全システムのリファレンス構想を設定。	N/A	2018年度で完了し、2019年度以降は③に成果を反映
③共通ソフトウェア開発	自律飛行安全管制ソフトウェアの設計開発。	前年度までに開発した自律飛行安全管制ソフトウェアの地上実証を行い、検証結果のフィードバックを行う。	実証・完成フェーズを追加
④搭載計算機の開発	搭載計算機の設計開発を実施。自律飛行安全共通ソフトウェアと搭載計算機とのインタフェース、機体固有とのインタフェースをつなぐ固有ソフトウェアの設計。	搭載計算機の完成。固有ソフトウェアの製作・試験を実施し、ソフトウェア単体として完成。	製作・実証・完成フェーズを追加
⑤地上解析ツール開発	自律飛行安全管制を行うために必要なソフトウェアの動作パラメータ(飛行中断基準)を地上で解析・作成するためのソフトウェアの設計開発。	左記ソフトウェアの詳細設計・製造・検証を進め、完成させる。	実証・完成フェーズを追加

⑥システム検証・実証	・システム検証の対象要素や検証手法について検討し、具体的な実証計画の検討を行う。	前年度までの成果を反映の上、自律飛行安全システムの地上実証及び基幹ロケットの実フライトデータを活用した地上実証を行い、自律飛行安全システムの評価を実施。	実証・完成フェーズを追加
⑦将来を見据えた萌芽的研究	機体健全性判断ロジックの詳細について検討を行うとともに、BBM 検証の計画について検討。	機体健全性判断ロジックの詳細について検討を行うとともに、原理検証を実施・評価する。	2019 年度の研究結果により、BBM 構築にかかるコストとリソースを勘案し、限られたハードウェア環境で実施可能な原理検証を実施。
⑧60kN 級ロケットエンジン燃焼器の開発	LOX/炭化水素系燃料の60kN 級ロケットエンジン燃焼器の設計及び製造・地上燃焼試験・壁面熱影響データ取得を実施する。	LOX/炭化水素系燃料の60kN 級ロケットエンジン燃焼器の統合システム開発と地上燃焼試験を実施する。	2019 年度までに得られたデータから各要素を統合し、実証・完成フェーズを追加。
⑨60kN 級 GG サイクルロケットエンジンのパワーパック開発	ターボポンプ用ガス発生器の設計および地上燃焼試験を実施する。ターボポンプの概念検討を実施。	N/A	開発および検討を完了し、⑧の成果で得られる燃焼器のロケットエンジンへの適用を検討。
⑩CFRP を用いたロケット構造の評価試験	試験片での評価試験を実施。	ロケット構造の実機設計に必要な試験データを幅広く取得する。	追加のデータ取得を実施。
⑪ロケット推進剤タンクの開発	実機に使用するアルミ合金で接合技術を適応し、試験を実施。	実機スケールでの推進剤タンクの製造および評価試験の実施	進捗に合わせて実機スケールでの製造および評価試験を実施。

(2) 研究開発の成果

研究開発項目	最終目標（2020年度）	成果・意義	達成状況	未達の原因分析/今後の見通し
①安全確保に関する考え方の整理	ソフトウェア地上検証の成果を取り込みつつ、打上げの際に必要な解析・運用の作業項目、スケジュール等について検討し、整理。	現行の地上管制と同等の安全性を確保するため、JAXAの現安全基準を適用したうえで、自律飛行安全特有の配慮事項を識別。	達成	今後本開発を通して得られる知見に基づき、引き続き安全基準の妥当性について検討を進める。
③共通ソフトウェア開発	前年度までに開発した自律飛行安全管制ソフトウェアの地上実証を行い、検証結果のフィードバックを行う。	自律飛行安全管制ソフトウェアの開発を完了した。	達成	基幹ロケットを含む各種ロケットへの適用を検討。
④搭載計算機の開発	搭載計算機の完成。固有ソフトウェアの製作・試験を実施し、ソフトウェア単体として完成。	搭載計算機および固有ソフトウェアの開発を完了した。	達成	フライト運用等を通じた技術の成熟化。
⑤地上解析ツール開発	左記ソフトウェアの詳細設計・製造・検証を進め、完成させる。	地上解析ツールの開発を完了した。	達成	基幹ロケットを含む各種ロケットへの適用を検討。
⑥システム検証・実証	前年度までの成果を反映の上、自律飛行安全システムの地上実証及び基幹ロケットの実フライトデータを活用した地上実証を行い、自律飛行安全システムの評価を実施。	ハードウェアとソフトウェアの統合試験を実施し、地上検証を完了した。	達成	基幹ロケットを含む各種ロケットへの適用を検討。
⑦将来を見据えた萌芽的研究	機体健全性判断ロジックの詳細について検討を行うとともに、原理検証を実施・評価する。	機体健全性判断ロジックに基づいた原理検証を実施し、異常検知および要因診断を実現した。	達成	考案した異常検知・診断ロジックを様々なモデルに適用して成熟化。
⑧60kN級ロケットエンジン燃焼器の開発	LOX/炭化水素系燃料の60kN級ロケットエンジン燃焼器の統合システム開発と地上燃焼試験を実施する。	安価で量産可能になる60kN級ロケットエンジン燃焼器の統合システム開発を完了した。	達成	小型ロケットへの適用を進める。
⑩CFRPを用いたロケット構造の評価試験	ロケット構造の実機設計に必要な試験データを幅広く取得する。	試験データを取得でき、実機設計にむけた基礎データを揃えた。	達成	小型ロケット構造の実機製造の基礎データとして活用する。
⑪ロケット推進剤タンクの開発	実機スケールでの推進剤タンクの製造および評価試験の実施	安価で量産可能な推進剤タンクの製造方法・検査方法を確立した。	達成	小型ロケットの推進剤タンクとして活用する。

(3) 活動指標

年度	論文数	国内特許出願	国外特許出願	PCT 出願
2019 年	2 件	0 件	0 件	0 件
2020 年	3 件	0 件	0 件	0 件

国際標準への寄与
—

プロトタイプ作成
—

知的財産の実施件数、ライセンス供与数
自律飛行安全ソフトウェアに関する知的財産を 2 件実施（共同研究 1 件、ライセンス供与 1 件）

5. 事業アウトカム

(1) 事業アウトカムの内容

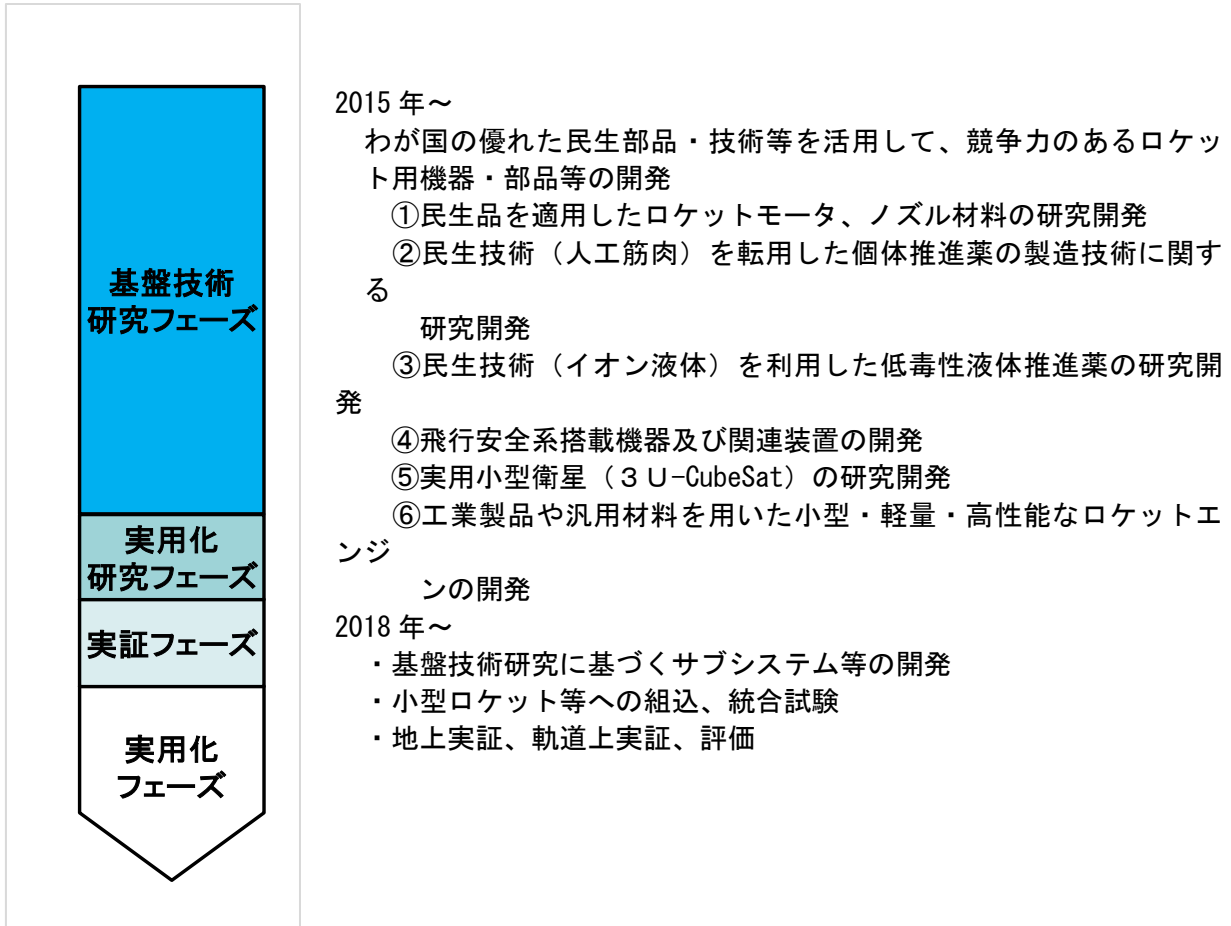
民生品や他分野の部品・技術を活用した機器の実用化数。

(2) 事業アウトカム目標

アウトカム目標		目標の設定理由	目標達成の見込み
2020 年	民生品や他分野の部品・技術を活用した機器を宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業全体で 5 件実用化する。	本事業は国際競争力のある宇宙用部品・コンポーネント等の開発を行うものであり、グローバル競争に向けた競争力強化への貢献を示すものであるため。	本事業において 2 件の実用化を達成。事業全体の目標達成及び宇宙用部品等の競争力強化に貢献した。

6. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

我が国の優れた民生部品・技術等を活用して、低コストな商業用超小型衛星打上げシステムの実現に向けたロケット用機器・部品及び民生品を適用した実用超小型衛星の研究開発を行い、地上実証や軌道上実証を重ねて、事業終了後に商業用小型衛星打ち上げシステムでの実用化につなげる。



7. 費用対効果

小型衛星の打上げ需要の増加に伴い、小型衛星を柔軟かつ安価に打ち上げることが可能な小型ロケットのニーズが世界的に高まっているなか、米国を中心に小型ロケットの開発が進められている状況であり、価格競争力のある小型ロケットの機体、エンジン及び打上げサービスを提供できれば、小型衛星の打上げ市場を獲得することが可能となる。

本研究開発では、2018年から2020年までの3年間で総額約7億円が投入されているが、民生部品や民生技術を活用した低価格な宇宙用部品・コンポーネントを開発し、地上実証や小型ロケットによる軌道上実証を経て成果を着実に積み重ねているところ。これら成果や現在開発を進めている自律飛行安全システム等により、将来的に打上げ価格を数億円規模で低減させることが可能と考えており、これらが我が国小型ロケット事業者へ技術移転されれば、海外のロケット事業者に対して価格・打上げ能力の観点から比較優位となるため、相当程度の打上げ需要の獲得が期待でき、研究開発費を大きく上回る費用対効果を有する（日本や米国で開発されている小型ロケットの打上げ価格は5～10億円程度を予定。）。

A-3 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業(宇宙の極限環境に適応する民生品の活用に関する研究開発)

上位施策名	1. 「未来投資戦略 2018」(平成 30 年 6 月 15 日閣議決定) ②「宇宙基本計画」(平成 28 年 4 月 1 日閣議決定)						
担当課室	製造産業局宇宙産業室						
目的	自動車用部品など、我が国が有する他分野の優れた技術等を活用し、低価格・高性能な宇宙用部品・コンポーネント等を開発し、人工衛星やロケット等の低コスト化を実現する。また、我が国として注力すべき宇宙用部品・コンポーネント等の開発を支援し、我が国の宇宙活動の自立性の確保及び宇宙機器産業の発展を実現する。 また、開発した部品・コンポーネント等の市場投入を支援するため、各種試験のワンストップ化や軌道上実証機会の拡充に向けた取組を行う。						
類型	複数課題プログラム / 研究開発課題(プロジェクト) / 研究資金制度						
実施時期	2011 年度～2018 年度(8 年間)	会計区分	一般会計 / エネルギー対策会計				
評価時期	事前評価：2011 年度、中間評価：2015、2018 年度、終了時評価：2021 年度						
実施形態	国 → 一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構(委託) → 国立大学法人九州工業大学等(再委託)						
プロジェクトリーダー	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構 宇宙産業本部 今井孝司(本部長)						
執行額(百万円)	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	総執行額	総予算額
	132	78	37	-	-	929*	960

*2011 年度～2018 年度

1. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況

1. 国内での類似・競合研究

本事業での成果は以下の通りである。

小型衛星民生部品データベースを構築し、輸出拡大に向けた広報等を推進した。

- ・ 民生部品・民生技術選定評価ガイドライン、適用設計ガイドラインの作成
- ・ 部品・コンポーネント等販売 WEB サイト Makesat を作成公開し運用中
- ・ 「超小型衛星搭載民生部品データベース」を作成公開し運用中

以上の成果に対し国内での競合は以下の通りである。

類似品として JAXA の宇宙転用ハンドブックがあげられる。

- ・ JAXA 共通 JERG-0-052 宇宙転用可能部品の宇宙転用ハンドブック（共通編）
- ・ JAXA ロケット JERG-1-010 宇宙転用可能部品の宇宙転用ハンドブック（ロケット編）
- ・ JAXA 宇宙機 JERG-2-023 宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック（長寿命衛星編）
- ・ JAXA 宇宙機 JERG-2-024 宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック（科学衛星編）

2. 海外での類似・競合研究

海外では COTS (Commercial Off The Shelf) 部品、商用部品の宇宙転用が推進されている。

欧州では CNES が (RNC-CNES-Q-ST-60-100 : General Requirements for the use of Commercial EEE Parts in Space Application) により商用部品の宇宙転用を推進している。

更にこれをベースに欧州としての標準 ECSS-Q-ST-60-13:Space product assurance-Commercial electrical, Electromechanical (EEE) components が制定されている。

2. 研究開発の内容

(1) 研究開発の全体構成

研究開発項目		実施者
①民生部品・民生技術の極限環境適用技術開発 【宇宙システム開発利用推進機構】	民生部品データベース構築	九州工業大学
②個別要素技術開発 【宇宙システム開発利用推進機構】	(a) トランスポンダ (STRX)	NEC
	(b) 電力制御器 (PCU)	NEC
	(c) グリーンプロペラント推進系 (GPRCS)	MHI
	(d) 半導体増幅器 (SSPA)	NEC
	(e) 環境計測装置 (SPM)	明星電気

(2) 各研究開発項目の実施内容

① 民生部品・民生技術の極限環境適用技術開発

民生部品・民生技術データベース及び実証衛星1号機・2号機等による宇宙実証データ等に基づき、最終の民生部品・民生技術選定評価ガイドラインと民生部品・民生技術適用設計ガイドラインを策定するとともに最終の民生部品・民生技術データベースを構築する。

② 個別要素技術開発

(a) トランスポンダ (STRX)

今回の STRX は、これまで小型衛星で実績のあるものをベースに機能追加を行い、実験機器でありながら、バス機器としても使用できることを目標とした。

(b) 電力制御器 (PCU)

今回の PCU は、市場動向からリチウムイオンバッテリー (LIB) の使用を前提とする。PCU の充電機能及びバッテリー温度制御機能を要素試作し、試験を行う。

(c) グリーンプロペラント推進系 (GPRCS)

ロケット、衛星及び探査機などの宇宙機の軌道や姿勢を制御するためのスラスタには“高性能化(消費推葉量低減)”、“作業性/取扱性向上(推葉低毒化)”、“低コスト化”が望まれている。そのため、現行の有毒な推葉を使用する推進系に替って“グリーンプロペラント”と呼ばれる低毒性推葉を使用する推進系を開発した。

これを JAXA 小型実証衛星 1 号機 (RAPIS-1) に搭載し、宇宙実証を行った。

(d) 半導体増幅器 (SSPA)

現在、衛星搭載の通信用増幅器は進行波管増幅器 (TWTA) が主流である。一方半導体増幅器 (SSPA) は出力が小さいため低周波では徐々に採用されつつあるが、高周波領域では既存デバイスでは SSPA に適用することは不可能であった。しかし、今回窒化ガリウム (GaN) を採用し新たにデバイスを開発することで、現在 TWTA しか無い Ku 帯及び Ka 帯増幅器を SSPA に置き換えることが可能であることを試験し、確認した。

(e) 環境計測装置 (SPM)

衛星に搭載する民生部品、民生技術の宇宙実証評価には、軌道上での放射線モニタが必須である。実証衛星 1、2 号機ではバス機器として粒子エネルギー spektrometa だけでなく、ドーズモニタ及びアップセットモニタも搭載し、詳細な評価を行った。

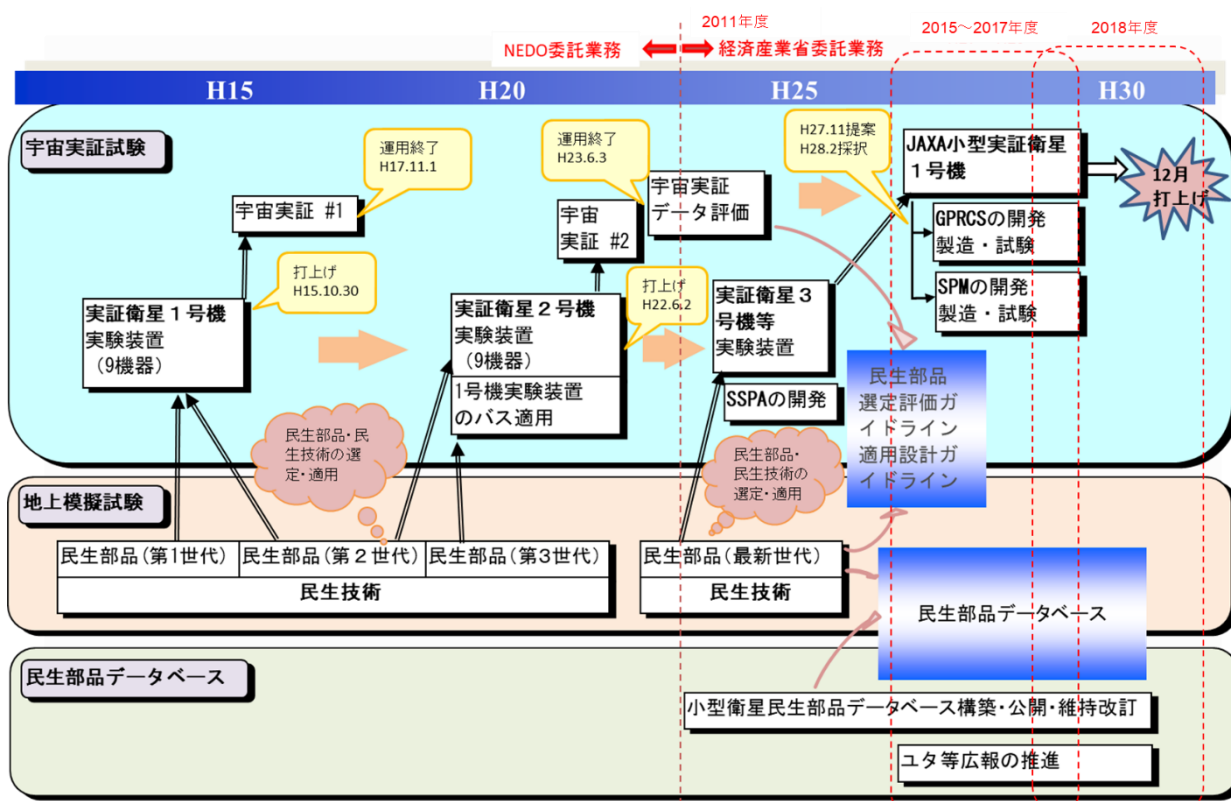
今回実証衛星 3 号機搭載を前提として、新たに低コストで小型の粒子エネルギー spektrometa を開発し、JAXA 小型実証衛星 1 号機 (RAPIS-1) に搭載し、宇宙実証を行った。

3. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) 研究開発計画

本事業は1999（H11）年度に開始され、2018（H30）年度まで実施した。これを以下の線表に示す。実証衛星1号機及び2号機関連の研究開発は2011（H23）年度の第2四半期までNEDOから宇宙システム開発利用推進機構（以下「機構」という。）への委託業務として実施した。また実証衛星3号機等の研究開発は2010（H22）年度第4四半期にNEDO委託業務として開始したが、2011年度からNEDOから経済産業省に移管された。

研究開発項目は宇宙実証試験、地上模擬試験及び民生部品データベースから成る。この中で、宇宙実証試験を行う実験装置、宇宙用コンポーネントは、宇宙実証終了後はこれらが世界市場で販売でき、一定のシェアを確保することを目指している。またデータベース及びガイドライン類は我が国の宇宙産業の国際競争力強化の実現を目指すものである。更に広報等の推進では、この事業をトリガーにして国内宇宙用部品・コンポーネントの担当各社による輸出拡大の実現を目指す。



(2) 資金配分

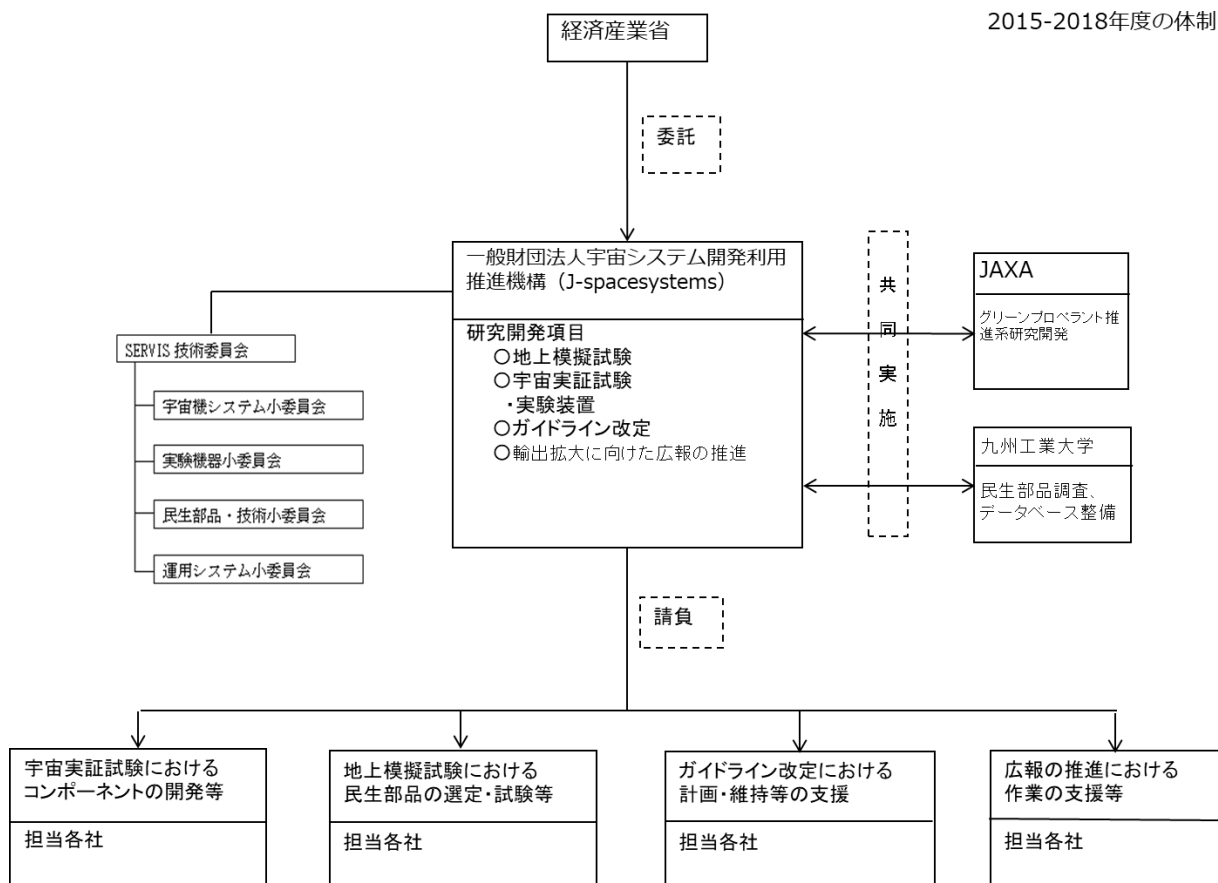
2011～2018年度の資金配分を以下に示す。

(単位：百万円)

研究開発項目	2011FY	2012FY	2013FY	2014FY	2015FY	2016FY	2017FY	2018FY	合計
地上模擬試験		26	23	10					59
民生部品データベース（九州工業大学）				2	2	2	2	2	10
ガイドライン策定・改定	5	5	5	5	5	5	5	5	40
実証衛星3号機	43	17	19	6					85
グリーンプロペラント推進系（GPRCS）	33	20	32	24	30	29	33	25	226
半導体増幅器（SSPA）				33	29	52			114
環境計測装置（SPM）		9	30	26	1	11	15	5	97
その他	117	73	13	25	14	26	20		288
広報等の推進						7	3		10
計	198	150	122	131	81	132	78	37	929

(3) 研究開発の実施・マネジメント体制

以下に2015～2018年度における研究開発の実施体制を示す。機構が経済産業省の委託を受けて、機構内に技術委員会を設置し継続的に有識者によって審議するとともに、必要なものについて JAXA 及び九州工業大学との共同実施を行い、機構が研究開発項目毎にアウトプットを含む仕様等を設定し、各々適切な担当各社を選定して請負う形で事業を進めた。



(4) 知財や研究開発データの取扱い

日本版バイ・ドール制度の目的（知的財産権の受託者帰属を通じて研究開発活動を活性化し、その成果を事業活動において効率的に活用すること）及び本プロジェクトの目的を達成するため、本プロジェクトにおいては、知的財産マネジメントを実施することを原則とする。

本方針に記載のない事項については、本プロジェクトの目的を踏まえ、プロジェクト参加者間の合意により必要に応じて定めるものとする。

プロジェクト参加者は、本方針に従い、原則としてプロジェクト開始（委託契約書の締結）までに、プロジェクト参加者間で知的財産の取扱いについて合意するものとする。

なお、プロジェクト参加者間での知的財産の取扱いについての合意書（以下「知財合意書」という。）の作成に当たっては、経済産業省の「委託研究開発における知的財産マネジメントに関する運用ガイドライン」（平成27年5月）を参考にした。

4. 事業アウトプット

(1) 研究開発目標

研究開発項目	中間目標（2017年度） （中間評価時期：2015年度～2017年度）	最終目標（2018年度） （最終評価時期：2015年度～2018年度）	設定（変更）理由
①民生部品・民生技術の極限環境適用技術開発	小型衛星民生部品データベースを構築し、輸出拡大に向けた広報等を推進する。	小型衛星に搭載された民生部品を調査し、小型衛星民生部品データベースを構築する。更に、小型衛星部品・機器の販売WEBサイトを公開し、輸出拡大に向けた広報を推進する。	民生部品・民生技術データベース等の知的基盤を構築し、これにより、衛星・コンポーネントの低コスト化、短納期化を実現するため。
②個別要素技術開発 (a)トランスポンダ (STRX)	宇宙実証試験の実験装置として、トランスポンダ (STRX) の開発を推進し、製造試験を実施する。	追加すべきレンジング（測距）機能の部分の追加回路を要素試作し試験を行うことにより、設定した仕様を満足できることを最終的に確認する	本装置は全体として衛星バス機能に合わせた仕様とする必要があることから、STRXのフライト品の開発は実施しないこととした。
②個別要素技術開発 (b)電力制御器 (PCU)	宇宙実証試験の実験装置として、電力制御器 (PCU) の開発を推進し、製造試験を実施する。	リチウムイオンバッテリー (LIB) の充電機能及びバッテリー温度制御機能を要素試作し、試験を行うことによりLIBを使用した場合の制御ができる見通しを最終的に得ること。	本装置は全体として衛星バス機能に合わせた仕様とする必要があることから、PCUのフライト品の開発は実施しないこととした。
②個別要素技術開発 (c)グリーンプロペラント推進系 (GPRCS)	宇宙実証試験の実験装置として、グリーンプロペラント推進系 (GPRCS) の開発を推進し、製造試験を実施する。	従来のヒドラジン (ITAR規制対象品) を推薬 (SHP) に置き換えることにより、低毒性で低コストの推進系を開発する。	宇宙機の軌道や姿勢を制御するためのスラストには“高性能化(消費推薬量低減)”、“作業性/取扱性向上(推薬低毒化)”が望まれているため
②個別要素技術開発 (d)半導体増幅器 (SSPA)	宇宙実証試験の実験装置として、半導体増幅器 (SSPA) の開発を推進し、製造試験を実施する。	通信ミッションには100Wクラス以上の出力が必要であるが、今回はバス通信系 (TTC) を対象とし、最終的にはKu帯で40W、Ka帯で10WのSSPAを開発することを目標とする。	半導体増幅器 (SSPA) は出力が小さいため低周波では徐々に採用されつつあるが、これにより高周波領域でのSSPAの適用が可能となる。

②個別要素技術開発 (e)環境計測装置 (SPM)	宇宙実証試験の実験装置として、環境計測装置 (SPM) の開発を推進し、製造試験を実施する。	粒子エネルギー spektrometer (SPM) は、現行の放射線計測器の性能を有しながら、小型で低価格な搭載機器を開発する。	小型で低価格な搭載機器のコンセプト実現のため。
------------------------------	--	---	-------------------------

(2) 研究開発の成果

研究開発項目	最終目標 (2018 年度)	成果・意義	達成状況	未達の原因分析/ 今後の見通し
①民生部品・民生技術の極限環境適用技術開発	小型衛星に搭載された民生部品を調査し、小型衛星民生部品データベースを構築する。更に、小型衛星部品・機器の販売 WEB サイトを公開し、輸出拡大に向けた広報を推進する。	民生部品のデータベース化及び選定評価ガイドライン、適用設計ガイドラインを作成し、衛星機器の設計・製作に寄与した。また、データベースの販売 WEB サイトを公開し、広報活動を推進した。	達成	
②個別要素技術開発 (a)トランスポンダ (STRX)	追加すべきレンジング (測距) 機能の部分の追加回路を要素試作し試験を行うことにより、設定した仕様を満足できることを最終的に確認する。	レンジング (測距) 機能の部分の追加回路を要素試作し試験を行い、仕様を満足することを最終的に確認した。本装置の開発に当っては、地上模擬試験を行い評価した民生部品を適用した。	達成	本装置は全体として衛星バス機能に合わせた仕様とすることから、STRX のフライト品の開発は実施しないこととした。
②個別要素技術開発 (b)電力制御器 (PCU)	リチウムイオンバッテリー (LIB) の充電機能及びバッテリー温度制御機能を要素試作し、試験を行うことにより LIB を使用した場合の制御ができる見通しを最終的に得ること。	リチウムイオンバッテリー (LIB) の充電機能及びバッテリー温度制御機能を要素試作し、試験を行うことにより LIB を使用した場合の制御ができる見通しを最終的に得ることが出来た。	達成	本装置は全体として衛星バス機能に合わせた仕様とすることから、PCU のフライト品の開発は実施しないこととした。
②個別要素技術開発 (c)グリーンプロペラント推進系 (GPRCS)	従来のヒドラジン (ITAR 規制対象品) を推薬 (SHP) に置き換えることにより、低毒性で低コストの推進系を開発する。	JAXA 小型実証衛星 1 号機への搭載が決定された GPRCS の製造、試験を推進し、JAXA 側に引渡し宇宙実証を完了した。	達成	

<p>②個別要素技術開発 (d)半導体増幅器 (SSPA)</p>	<p>通信ミッションには 100W クラス以上の出力が必要であるが、今回はバス通信系 (TTC) を対象とし、最終的には Ku 帯で 40W、Ka 帯で 10W の SSPA を開発することを目標とする</p>	<p>窒化ガリウム (GaN) を採用し新たにデバイスを開発することで、現在 TWTA しか無い Ku 帯及び Ka 帯増幅器を SSPA に置き換えることが可能であることを確認し、SSPA の開発を完了した。</p>	<p>達成</p>	
<p>②個別要素技術開発 (e)環境計測装置 (SPM)</p>	<p>粒子エネルギー spektrometer (SPM) は、現行の放射線計測器の性能を有しながら、小型で低価格な搭載機器を開発する。</p>	<p>JAXA 小型実証衛星 1 号機への搭載が決定された SPM の製造、試験を推進し、JAXA 側に引渡し宇宙実証を完了した。</p>	<p>達成</p>	

(3) 活動指標

年度	論文数	国内特許出願	国外特許出願	PCT 出願
2018 年	5 件	0 件	0 件	0 件

国際標準への寄与
—

プロトタイプの作成
—

5. 事業アウトカム

(1) 事業アウトカムの内容

我が国として注力すべき宇宙用部品・コンポーネント等の開発を支援し、我が国の宇宙活動の自立性の確保及び宇宙機器産業の発展を実現するという事業の目的から、民生品や他分野の部品・技術を活用した機器の実用化数をアウトカムとする。

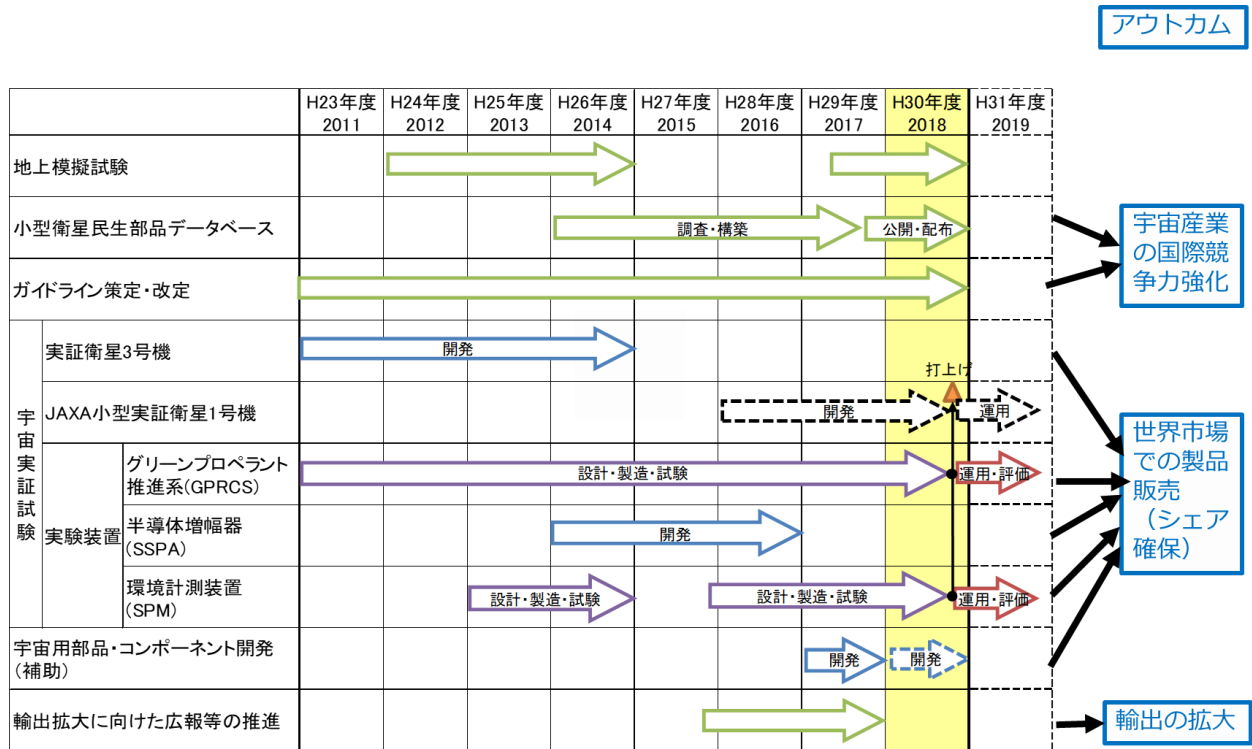
(2) 事業アウトカム目標

アウトカム目標		目標の設定理由	目標達成の見込み
2015 年度～ 2017 年度	民生部品・技術を活用した機器を 3 件実用化する。 (2017 年度中まで)	民生分野の技術を活用した部品・コンポーネントの実用化には、地上実証や宇宙実証が必要であり、開発から実用化までに、一定のハードルが存在するため、開発のみで終わらず、実用化にたどり着くために、当該目標設定が適当である。	・トランスポンダ (STRX) ・電力制御器 (PCU) ・半導体増幅器 (SSPA) の 3 機器を 2016 年度までに開発した。
2018 年度	民生部品・技術を活用した機器を 2 件実用化する。 (2018 年度中まで)		JAXA 小型実証衛星 1 号機 (RAPIS-1) への搭載が決定されたグリーンプロペラント推進系 (GPRCS) 及び環境計測装置 (SPM) の 2 機器の製造、試験を推進し、JAXA 側に引渡し宇宙実証を完了した。

6. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

2011（H23）年度から2018（H30）年度までの事業の線表を以下に示す。

地上模擬試験、データベース、及びガイドライン類のアウトカムは我が国の宇宙産業の国際競争力強化の実現を目指すものである。宇宙実証試験を行う実験装置、宇宙用コンポーネントは、宇宙実証終了後はこれらが世界市場で販売でき、一定のシェアを確保することがアウトカムとなる。輸出拡大に向けた広報等の推進でのアウトカムは、この事業をトリガーにして国内宇宙用部品・コンポーネントの担当各社による輸出拡大が実現することである。



7. 費用対効果

本事業に2011～2018年度に投入された総額は929百万円である。

知的基盤については、これまでの各担当企業が独立に実施・蓄積してきた民生部品・技術の活用を、我が国で初めて結集し構築したものである。担当各社の知見・経験等を盛り込むために必要とした費用は少なく、ベンチャー企業や大学等の発展に寄与する等、宇宙産業への波及効果は大きい。

機器・コンポーネントについては各々について異なる状況である。その中で、LIBは実証衛星1号機において3億円程度で開発したが、現在までの世界市場でのLIB販売数は300台を超えており、販売価格はサイズによって異なるため単純には示せないものの、1台数億円程度と推定されることから推定数100億円の波及効果となっている。

衛星バスについては、実証衛星1、2号機での開発費用に比較して、開発担当企業はこの成果を基に世界市場での販売を益々進めており、その効果は大きい。実証衛星3号機に関しては投じた開発費は当初計画より1桁小さい約1.4億円であるが、今後の100kg級小型衛星バスのベースとなるキー技術を獲得し、将来の海外市場展開への足掛かりとなったことからその波及効果は大きい。

B 石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発事業

上位施策名	エネルギー基本計画（2021年10月22日閣議決定） 宇宙基本計画（2020年6月30日閣議決定）						
担当課室	製造産業局宇宙産業室						
目的	<p>HISUI は、既存のセンサに比べ、スペクトル分解能が格段に高く、より高い精度で宇宙空間から地表の物質の識別が可能なハイパースペクトルセンサである。既存の資源探査用センサ ASTER（バンド数 14）に比べバンド数が 185 と多く、例えば資源探査に必要な鉱物の識別能力では、10 種類程度から 30 種類程度の特特定が可能となる。本事業では、目標性能を達成した HISUI ハイパースペクトルセンサを国際宇宙ステーション（ISS）に搭載し、地球陸域を観測しデータを蓄積するとともに、取得されるデータを用いて利用実証を行い、宇宙用ハイパースペクトルセンサの有用性を検証するなどの宇宙実証を行うことを目的とする。</p> <p>さらに、今後蓄積されるデータをより多くの国内ユーザ等が利活用し、エネルギー資源や重要資源鉱物のサプライチェーンの安定供給の確保のみならず、地球温暖化対策への貢献など地球規模の環境問題への貢献の他、多分野での効率的・効果的なデータ利活用の実現を目指す。</p>						
類型	複数課題プログラム / 研究開発課題（プロジェクト） / 研究資金制度						
実施時期	2007年度～2023年度（17年間）	会計区分	一般会計 / エネルギー対策会計				
評価時期	事前評価：2006年度、中間評価：2008年度、2011年度、2015年度、2018年度、2021年度、終了時評価：2024年度予定						
実施形態	国 → （一財）宇宙システム開発利用推進機構（委託）						
プロジェクトリーダー	岩崎 晃 東京大学大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授						
執行額 (百万円)	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	総執行額	総予算額
	1,149	1,149	875	843	721	17,548	17,780

1. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況

ハイパースペクトルセンサ HISUI の開発が始まった背景としては、2006年（平成18年）3月の総合科学技術会議による「分野別推進戦略」にて特記された先進的なリモートセンシング技術の一つであるハイパースペクトルセンサ技術には大きな進展が期待される旨が明記されたことのほか、エネルギー・鉱物資源の安定供給を図るため、そして、エネルギー安全保障を含む我が国の総合的な安全保障や国民の安全・安心の観点から、逼迫しているエネルギー資源の効率的探査および地球規模での環境問題等に対応可能な高い波長分解能を有するハイパースペクトルセンサへのニーズの高まり、さらには、海外でのハイパースペクトル衛星開発計画（例、ドイツの EnMAP やカナダの HERO プロジェクト等）の立ち上がりなどがあった。そして、我が国の宇宙開発利用が、それまでの研究開発・技術開発を重視した「宇宙開発」の時代から、「宇宙の利用・産業化」を通じた国民生活の質の向上、総合的な安全保障の確保、経済の活性化、産業競争力の向上を目指す時代への転換期を迎えていた 2007年（平成19年）、ハイパースペクトルセンサ HISUI の開発が始まった。

当時、世界のハイパースペクトル衛星は、米国 NASA の EO-1/Hyperion（2000年打上）と ESA の PROBA/CHRIS（2001年打上）の2機のみであった。Hyperion は研究目的のセンサで、データ品質において商業利用までには向かない仕様であり、CHRIS は観測波長域が VNIR のみであるためエネルギー・鉱物資源のユーザにとっては不十分なものであった。

その後、米国の OrbView-4、カナダの HERO、ドイツの EnMAP、イタリアの PRISMA、南アの MSMISat、米 JPL の HypSI、インドの HySI、中国の HJ-1A、米空軍の ARTEMIS、米海軍研究所の HICO、韓国の COMS、フランスの HYPXIM 等、数多くのプロジェクトが計画・開始されるなど、多くの国でハイパースペクトルセンサ開発に対して前向きに取り組む動きが活発化した。さらに、近年の衛星の小型化の動きに合わせてハイパースペクトル衛星も小型化あるいはコンステレーション化の計画・打上げ・運用がベンチャー企業においても始まりつつある。

2021年10月22日に閣議決定された第6次エネルギー基本計画では、「世界的に関心が高まっている気候変動問題など国内外の動向を踏まえながらエネルギー政策を進めていくことが時代の要請であり、カーボンニュートラルに向けた対応が世界的な潮流である」と強調しているものの、我が国のエネルギー・資源の安定供給はこれまでと同様にその重要性は謳われており、

・カーボンニュートラルへの道筋に関わらず、必要なエネルギー・資源を安定的に確保し続けることが国家の責務である。

・石油などの海外権益獲得や国内資源開発を通じた安定供給確保は、国民生活及び経済活動の観点から重要であり、引き続き確実に達成する必要がある。

・鉱物資源は、カーボンニュートラルに向けて需要の増加が見込まれる再生可能エネルギー関連機器や電動車等（特に、蓄電池、モーター、半導体など）の製造には、銅やレアメタル等の鉱物資源の安定的な供給確保が欠かせない。

と言及している。

現在、運用中および計画中の宇宙用ハイパースペクトルセンサには、実験用から商用まで様々なハイパースペクトルセンサがあるが、HISUI の主目的であるエネルギー資源、鉱物資源探査を達成するためには、2.0-2.5 μm の波長帯のデータ取得は必須であり、かつノイズの少ない品質の良いデ

ータ（S/N 比の大きいもの）に着目してそれぞれのセンサを比較すると、HISUI が 300@2100nm と最もノイズの少ない品質の良いデータの取得が可能である。

なお、商用目的のハイパースペクトル衛星は、開発・打上げコストを低減させ、開発期間を短縮するために衛星を小型化する傾向であり、結果、冷却装置の不要なセンサ（VNIR の帯域を対象とするセンサ）による運用とせざるを得ない状況であり、エネルギー資源・鉱物資源探査には必ずしも適さない。

2. 研究開発の内容

HISUI (Hyperspectral Image SUite) ハイパースペクトルセンサは、資源探査用衛星センサである ASTER (1999 年打上げ。現在も設計寿命 5 年を超えて 22 年以上運用中) の後継機として開発を行い、物質の解析に有用なスペクトル分解能を飛躍的に向上させ、より高精度なデータを得ることを可能とする。ASTER センサでは鉱物の分類が 10 程度しかできなかったが、本センサにより 30 程度まで特定することができる。このデータを解析することによって石油賦存地域のより詳細な特定や埋蔵量のより詳細な推定のみならず、カーボンニュートラルに向け、モータ用磁石や車載用電池の効率化・軽量化等に必要となる重要鉱物資源等の安定的なサプライチェーン確保等にも貢献できる。HISUI を開発し宇宙実証を行って、我が国へのエネルギー資源・金属資源の安定供給や地球温暖化に伴う様々な環境問題のための高度リモートセンシング技術の向上及び利用の拡大を図ることを本研究開発の目標とする。

1. 研究開発の全体構成

研究開発項目とその実施者を表 2-1 に示す。

表 2-1 研究開発項目と実施者

研究開発項目		実施者
1.	ハイパースペクトルセンサの開発	- 日本電気(株)
2.	(a) 曝露ペイロードバス部の開発	(株)IHI エアロスペース、明星電気(株)
	(b) 船内データ保存システムの開発	
3.	(a) HISUI 管制系システムの開発	宇宙技術開発(株) 富士通(株)、日本電気(株)、三菱スペースソフトウェア(株)
	(b) 地上データ処理システムの開発	
4.	(a) 画像データ校正手法の開発	(国研)産業技術総合研究所、東京大学 (国研)産業技術総合研究所、酪農学園大学 (株)地球科学総合研究所、JX 金属探開(株)、アジア航測(株)、国際航業(株)
	(b) 観測計画策定手法の開発	
	(c) データ利用実証	

HISUI は、国際宇宙ステーション (ISS) の「きぼう」船外実験プラットフォームに取り付けられる曝露ペイロードシステム (ハイパースペクトルセンサと曝露ペイロードバス部) と「きぼう」日本実験棟 (JEM) 内に置かれる船内データ保存システムおよび宇宙実証システム (地上データシステムと地上データ処理ソフトウェア)、さらに、センサ校正・観測計画策定システムから構成される。

また、宇宙実証のとしてデータ利用実証も実施する。

これらの HISUI システムの構成と研究開発項目を対応付け、その主な役割を表 2-2 に示すとともに全体構成を図 2-1 に示す。

表 2-2 HISUI システムの構成と主な役割

HISUI システムの構成	主な役割
① 曝露ペイロードシステム	ハイパースペクトルセンサと曝露ペイロードバス部から構成
② ハイパースペクトルセンサ	可視近赤外領域と短波長赤外領域の観測を行う地球観測センサ
③ 曝露ペイロードバス部	ハイパースペクトルセンサの作動に必要な資源と観測環境の提供。 観測データとその処理に必要なテレメトリを、HISUI 船内データ保存システムに伝送
④ 船内データ保存システム	曝露ペイロードシステムから伝送される観測データとその必要なテレメトリをハードディスクに保管。それらを地上に伝送
⑤ 宇宙実証支援システム	
⑥ HISUI 管制系システム	JAXA ISS 運用管制系を経由して曝露ペイロードシステムと接続し、観測計画の送信、一部の観測データやテレメトリの受信
⑦ 地上データ処理システム	HDD 輸送またはダウンリンクした観測データやテレメトリの受配信、プロダクトの作成・保存管理等の実施
⑧ ハイパースペクトルセンサの実証	
⑨ センサ校正・観測計画策定システム	観測画像データの分析評価機能によるセンサの精度検証・校正の実施。観測計画作成・観測実績管理
⑩ データ利用実証	上記一連のシステムから得られた観測データを用いて、エネルギー資源・鉱物資源分野のほか、地球温暖化対策に貢献する地球規模の環境分野等の実証研究を行い、その有用性の評価の実施

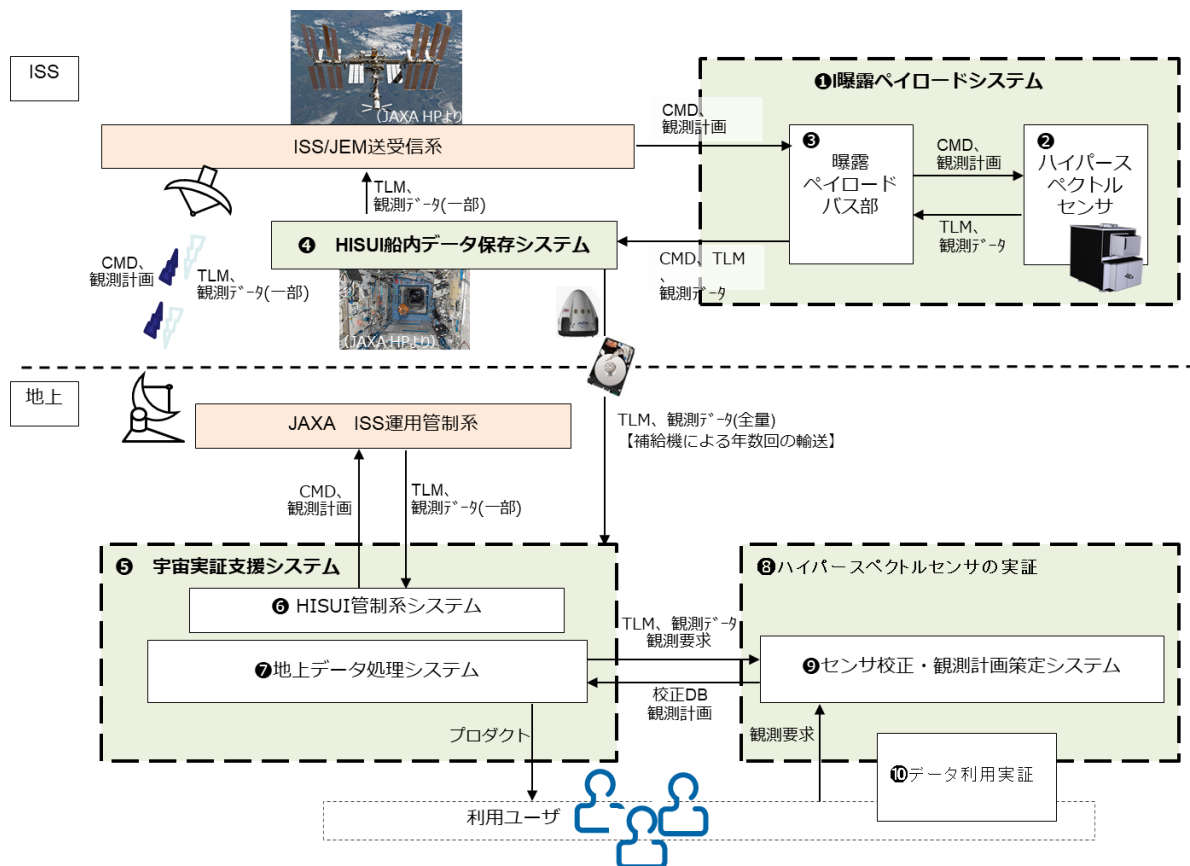


図 2-1 HISUI 全体構成

ハイパースペクトルセンサの目標性能を表 2-3 に示す。

表 2-3 ハイパースペクトルセンサの目標性能

HS	項目	達成目標
1	空間分解能	20m × 30m
2	観測幅	20km (空間分解能の 1000 倍)
3	バンド数	185 (VNIR 58、SWIR 127)
4	観測波長域	0.4~2.5 μm
5	波長分解能 (バンド幅)	10nm (VNIR) 12.5nm (SWIR)
6	S/N 比	370@620nm 270@2100nm (前提: アルベド 30%・太陽天頂角 24.5 度)
7	MTF	0.2
8	量子化ビット数	12bit
9	オンボード圧縮・処理	有 (可逆のデータ圧縮を有する)

注 1) VNIR: 可視近赤外、SWIR: 短波長赤外、アルベド: 地表反射率

太陽天頂角: 太陽方向と地表点の天頂のなす角

MTF: : 振幅伝達関数=光学解像度の品質指標

注 2) 宇宙実証時の軌道高度: 410km 程度

上記目標設定に当たっては、ユーザの要求に合致していること、および、世界最高レベルの性能を有していることを前提に検討を行った。さらに、プロジェクト開始時、航空機搭載ハイパースペクトルセンサや衛星搭載ハイパースペクトルセンサ Hyperion などのデータを実際に使用している

ユーザから高 SN データが必須であるとの要望に基づき、世界的にも最高水準にある以下の SN が可能となるべく、下記の SN を目指した。

●HISUI で目指す世界的な最高水準 (SN 値)

VNIR (可視近赤外) 450 以上@620nm

SWIR (短波長赤外) 300 以上@2100nm

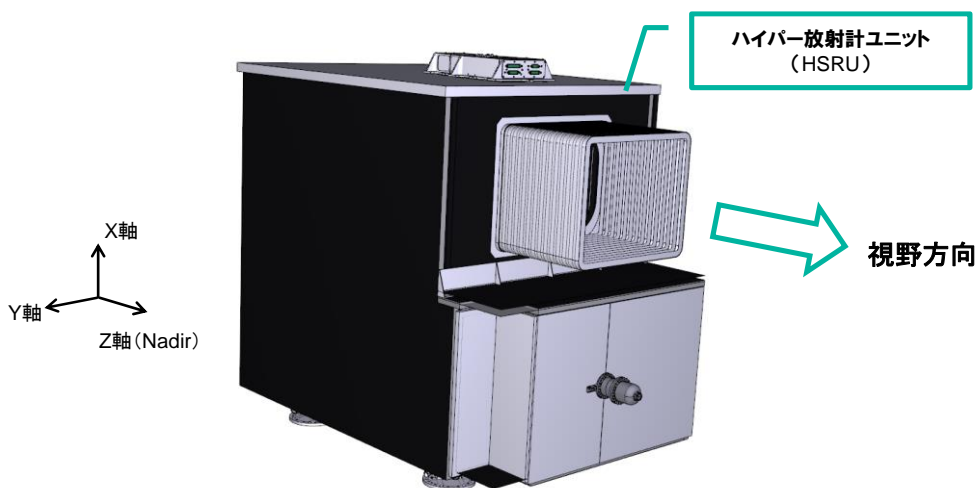
(2) 各研究開発項目の実施内容

① ハイパースペクトルセンサの開発

ハイパースペクトルセンサは、2007～2014 年度に、構成するコンポーネント及びセンサシステムの設計を行い、詳細設計審査会（CDR）において最終目標性能を達成可能であることを確認している。また、2011～2014 年度に構成するコンポーネントのフライトモデルを製作し、軌道上環境での熱環境や機械環境に対する耐性、電磁適合性等を含む試験により、宇宙用としての品質を確認した。2015～2016 年度は、センサのフライトモデルの組立・インテグレーションおよび試験を行った。また、2015 年度より ISS に搭載して宇宙実証するための機能強化・上位システムとのインタフェース調整・安全審査、およびハイパースペクトルセンサの健全性確認試験を行い、2018 年度には設計確認会において目標性能の適合性が達成可能であり健全性が保たれていることを確認したうえで、曝露ペイロードへ組み込まれた。

さらに 2019 年度に曝露ペイロードでの環境試験に供された後に 2019 年 12 月に打ち上げられ、ISS に搭載された。

ハイパースペクトルセンサの外観、内部構造図を図 2-①-1、図 2-①-2 に示す。



※ユニット間ハーネス及び電気コンポーネントは本図には含まない。

図 2-①-1 ハイパースペクトルセンサ外観図

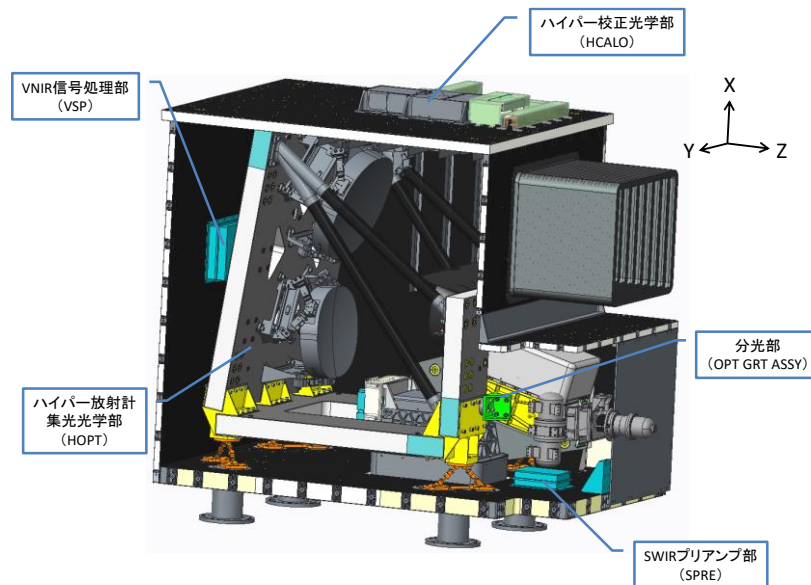


図 2-①-2 ハイパースペクトルセンサ放射計ユニット (HSRU) 内部構造図

ア. ISS 搭載に向けての設計

ハイパースペクトルセンサの ISS 搭載については、開発中の同センサを極力生かして曝露ペイロードバス部に搭載する事でコスト低減・開発スケジュールへの影響回避を図る方針とした。

(A) センサ目標性能の適合性検討

ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサの詳細設計を実施し、ISS 搭載により遭遇する熱、機械、電気、放射線や EMC 等の各環境条件に対する ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサの「宇宙実証時の達成目標値」に対する実現性、適合性の評価結果を行い、全ての項目に対して適合していることをセンサ部設計確認会（2018 年 9 月）で確認した。

表 2-①-1 に、基本計画で示されている目標性能に対する適合性一覧を示す。

表 2-①-1 基本計画で示されている目標性能に対する適合性

No.	項目	達成目標	適合性
①	空間分解能	20m × 30m	適合 20m (GT) × 30m (AT)
②	観測幅	20km	適合
③	バンド数	185	適合 VNIR: 57, SWIR: 128
④	観測波長域	0.4~2.5 μm	適合 VNIR: 0.4~0.97 μm SWIR: 0.9~2.5 μm
⑤	波長分解能 (サンプリング)	10nm (VNIR) 12.5nm (SWIR)	適合
⑥	S/N 比	370 @620nm 270 @2100nm	適合
⑦	MTF	0.2	適合
⑧	量子化ビット数	12bit	適合
⑨	オンボード圧縮・処理	有	適合

(B) 安全設計

ハイパースペクトルセンサを ISS に搭載するために、ISS 側から要求される安全に関する課題を抽出し、その対策を立案・実施した。NASA/JAXA による安全審査は3段階（フェーズ 0/1、フェーズ 2、フェーズ 3）があり、2017 年度に終了しているフェーズ 0/1 に続いて、2018 年度には以下の審査を受け、合格した。

- ・ JAXA Phase II 安全審査 (SFCB: Structure Fracture Control Board 含む)
- ・ NASA Phase II 安全審査 (HISUI-Exp φ II)

イ. ISS 搭載のための機能強化

ハイパースペクトルセンサを ISS に搭載するための機能強化として以下の作業を行った。

- ・ ISS 搭載時の熱環境に適合させるための「サーモスタット」貼り付け
- ・ ISS 搭載時の原子状酸素による MLI の表面劣化を防ぐ「βクロス」を留めるためのベルクロテープ縫い付け
- ・ 冷凍機のガス置換作業
- ・ ハイパースペクトルセンサの健全性確認試験を実施し、その結果を 2018 年 9 月の設計確認会で報告し、健全性が保たれていることを確認した。
- ・ ハイパースペクトルセンサと曝露ペイロードバス部との組立試験の際にシリアライザ IC が故障したため、交換および交換後のワークマンシッパ確認試験により正常動作を確認した。また、交換後の曝露ペイロードバス部との再組立試験（2019 年 1 月）においても正常に動作することを確認した。

ウ. 軌道上性能解析

(A) センサの健全性評価

(i) 初期機能確認

2019/12/6 の打上げ後、2019/12/13 に実施した冷凍機クールダウン結果は、クールダウン完了後の温度も非常に安定していることから、冷凍機は良好な状態で動作していることが確認できた。

2019/12/16 に実施したハイパースペクトルセンサ各機器の起動／停止動作確認において、各機器のオン時の電圧および電流値は地上試験と同等の値を示しており、良好な状態であることが確認できた。

また各部の温度についても、光学系が 23℃～26℃の性能維持温度範囲、その他機器についても許容温度内に十分入っており、良好に温度制御されていることが確認できた。

2019/12/24 に実施した観測においては、以下に示す観測対象にて、計 3 回の観測シーケンスを実行した。

- 1 回目の観測：日本
- 2 回目の観測：夜間の海(暗時データ取得)
- 3 回目の観測：豪州北部

該当の観測シーケンスにおいて取得したテレメトリデータによる確認・評価の結果、軌道上におけるハイパースペクトルセンサの健全性及び観測シーケンスにおける動作に問題のないことが確認できた。

(ii) 初期チェックアウト

2020 年 1 月に発生したトラブル（詳細は②カ(B)項に示す）のため中断した初期チェックアウトは、半年のトラブルシュートの後、2020 年 9 月にチェックアウトが再開された。

チェックアウトとして、以下に示す観測対象にて計 6 回の観測シーケンスが実行された。

- 1 回目の観測 (2020/9/4)：通常観測 (暗時データの取得)
- 2 回目の観測 (2020/9/4)：通常観測 日中
- 3 回目の観測 (2020/9/11)：内部光源校正 Lamp A
- 4 回目の観測 (2020/9/11)：内部光源校正 Lamp B
- 5 回目の観測 (2020/9/23)：高波長分解能
- 6 回目の観測 (2020/9/23)：地球校正

該当の観測シーケンスにおいても、(i) 項と同様に、軌道上におけるハイパースペクトルセンサの健全性及び観測シーケンスにおける動作に問題のないことが確認できた。

(B) センサの軌道上性能評価

2020年9月以降、取得できた内部光源校正および地表観測のデータを用いて、HISUI 軌道上性能評価を実施した。目標性能に対する評価結果のサマリを表 2-①-2 に示す。引き続き評価中の項目を除き、全ての項目で目標性能を達成したことを確認した。

内部光源校正のデータを用いた評価は④及び⑤、地表観測のデータを用いた評価は①、②および⑨である。③及び⑧は観測対象を限らず画像データの確認にて評価した。

評価中の⑥および⑦については、2021年度以降に引き続き評価を実施する。

以下の(i)および(ii)項にて、①②④⑤についての評価内容を示す。

表 2-①-2 目標性能に対する適合性の評価結果

No.	項目	達成目標	評価結果
①	空間分解能	20m × 30m	達成 VNIR : 20.5m(CT) × 29.1m(AT) SWIR : 20.0m(CT) × 29.7m(AT)
②	観測幅	20km	達成 VNIR : 21.0km SWIR : 20.0km
③	バンド数	185	達成 VNIR: 57, SWIR: 128
④	観測波長域	0.4~2.5 μm	達成 VNIR: 0.361~0.999 μm SWIR: 0.883~2.47 μm
⑤	波長分解能 (サンプリング)	10nm (VNIR) 12.5nm (SWIR)	達成 VNIR : 10.02nm SWIR : 12.42nm
⑥	S/N 比	370 @620nm 270 @2100nm	良好 (引き続き評価中)
⑦	MTF	0.2	良好 (引き続き評価中)
⑧	量子化ビット数	12bit	達成
⑨	オンボード圧縮・処理	有	達成

(i) 内部光源校正データを使用した評価

ハイパースペクトルセンサの内部に搭載したハロゲンランプを光源として取得したデータを使用し、観測波長域および波長分解能を評価した。

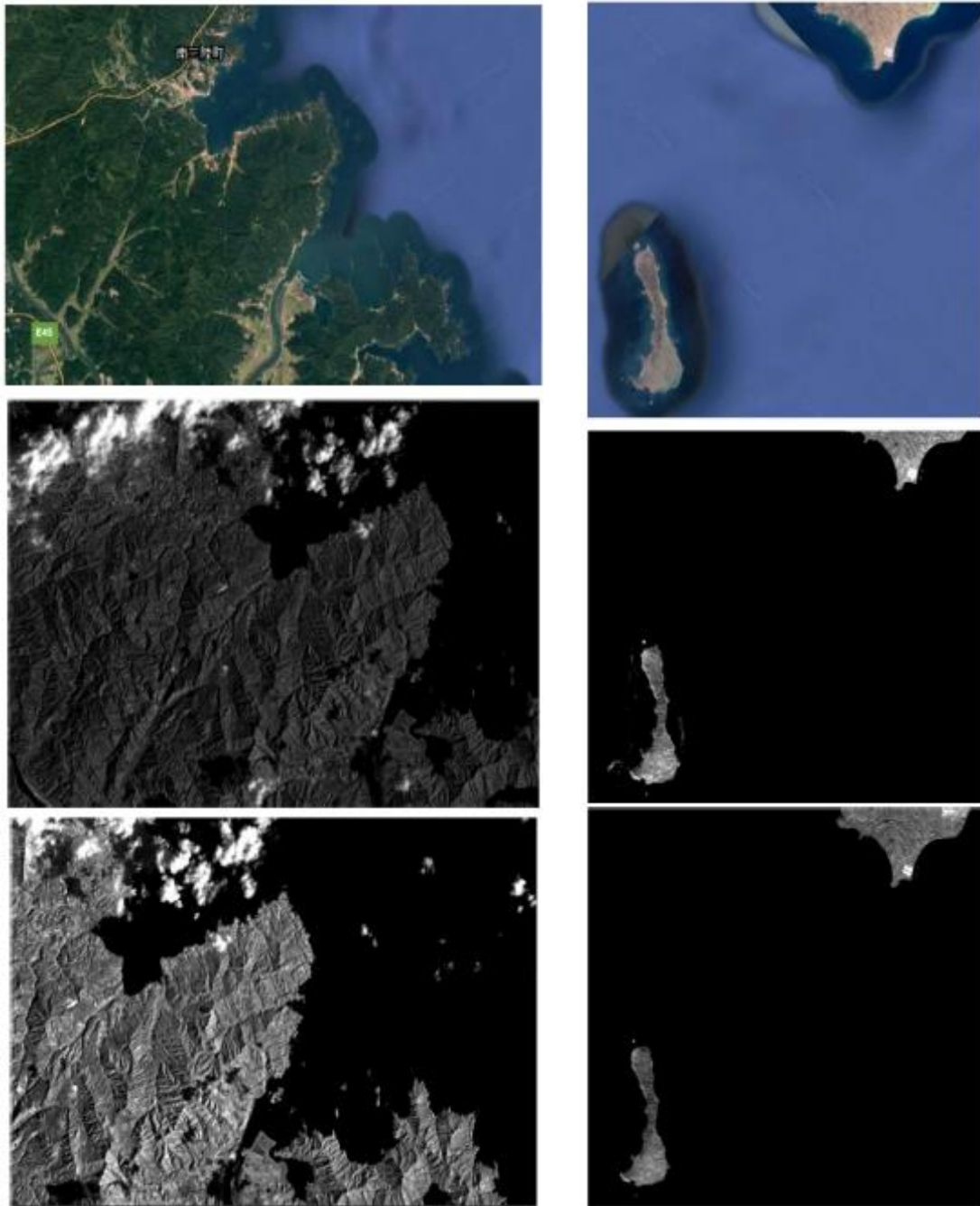
軌道上ではVNIR、SWIRとも規格内で安定して推移していることが確認できた。また、異なるランプA、ランプBで観測波長域および波長分解能いずれも同等の観測結果が得られることが確認され、ランプが冗長系として使用可能であることを確認できた。

(ii) 地表観測のデータを用いた評価

通常観測(2021/1/29(日本の南三陸町付近)、2021/2/7(米国カリフォルニアのナティヴィダー島付近))で取得したデータを用いて、空間分解能(表 2-①-2 の①)および観測幅(表 2-①-2 の②)の評価を実施した。

評価に使用した画像を図 2-①-3 に示す。

それぞれ進行方向(AT 方向)、進行方向に直角の方向(CT 方向)に、地図上で場所を特定しやすい陸のエッジ部分を含む5点を抽出し、評価を行った。それぞれ5点の平均値をとり、最終的な評価結果は東北とカリフォルニアの平均値とした。



左：南三陸町付近の画像（上段：地図、中段：VNIR、下段：SWIR）

右：ナティヴィダー島付近の画像（上段：地図、中段：VNIR、下段：SWIR）

図 2-①-3 ジオメトリック評価に使用した画像

評価結果を表 2-①-3 および表 2-①-4 に示す。VNIR、SWIR 共に仕様値 に対して妥当な結果であると判断した。なお仕様値との差分については、今回、L0 データを使用し、地図上の距離を目視で読み取っていることが理由に挙げられる。幾何補正された L1 データであれば、より正確に地図と比較することができ、より仕様値に近い結果が得られると考えられる。

表 2-①-3 空間分解能の評価結果

	VNIR	SWIR
仕様値	20m(クロストラック)/ 31m(アロングトラック) @高度 400km 程度	
評価結果	AT : 29.1m CT : 20.5m	AT : 29.7m CT : 20.0m

表 2-①-4 観測幅の評価結果

	VNIR	SWIR
仕様値	20km @高度 400km 程度	
評価結果	21.0km	20.0km

② 曝露ペイロードの開発

ハイパースペクトルセンサは ISS の日本の宇宙ステーション取付型実験モジュール (JEM : Japanese Experiment Module) の曝露部の EFU#8 に設置して宇宙実証を行う (図 2-②-1)。そのため、同センサを制御・運用するための装置である曝露ペイロードの開発を 2015 年度より開始した。

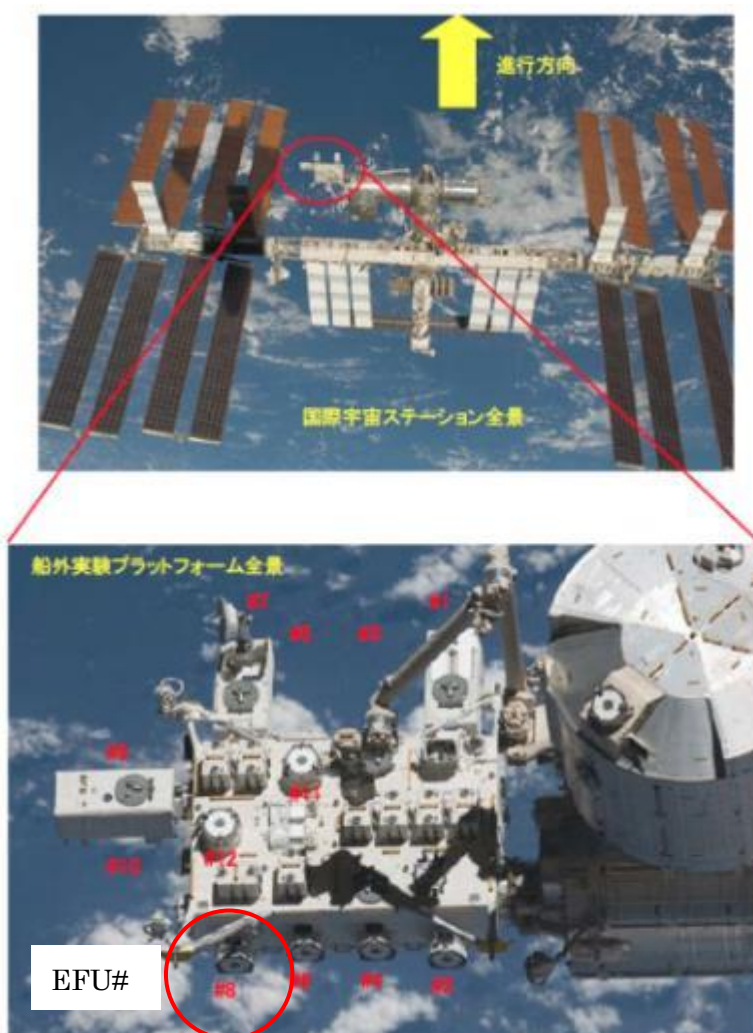


図 2-②-1 国際宇宙ステーション (ISS) と JEM 曝露部

曝露ペイロードは、JEM 曝露部に設置し観測データを取得する曝露ペイロードシステム (曝露ペイロードバス部+ハイパースペクトルセンサ) と JEM 与圧室内に設置し、取得データを格納ないしは地上にダウンリンクする船内データ保存システムからなる。曝露ペイロードの構成ツリーを図 2-②-2 に示す。

曝露ペイロード

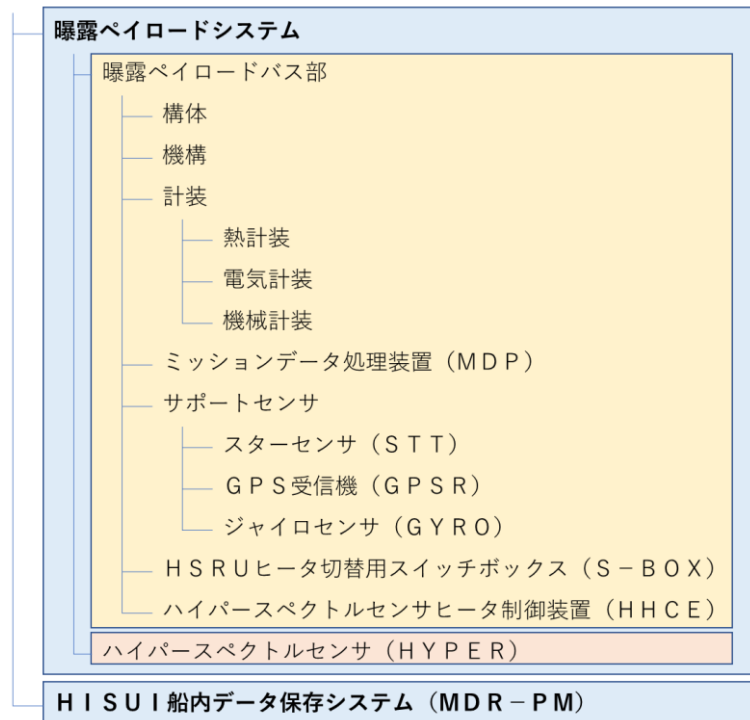


図 2-②-2 曝露ペイロード 構成ツリー

曝露ペイロードシステムは JEM 曝露部に設置され、観測計画にしたがって観測データを取得し、軌道・姿勢情報や各種装置作動情報とともに船内データ保存システムに送信する。曝露ペイロードシステムの外観図を図 2-②-3 に示す。

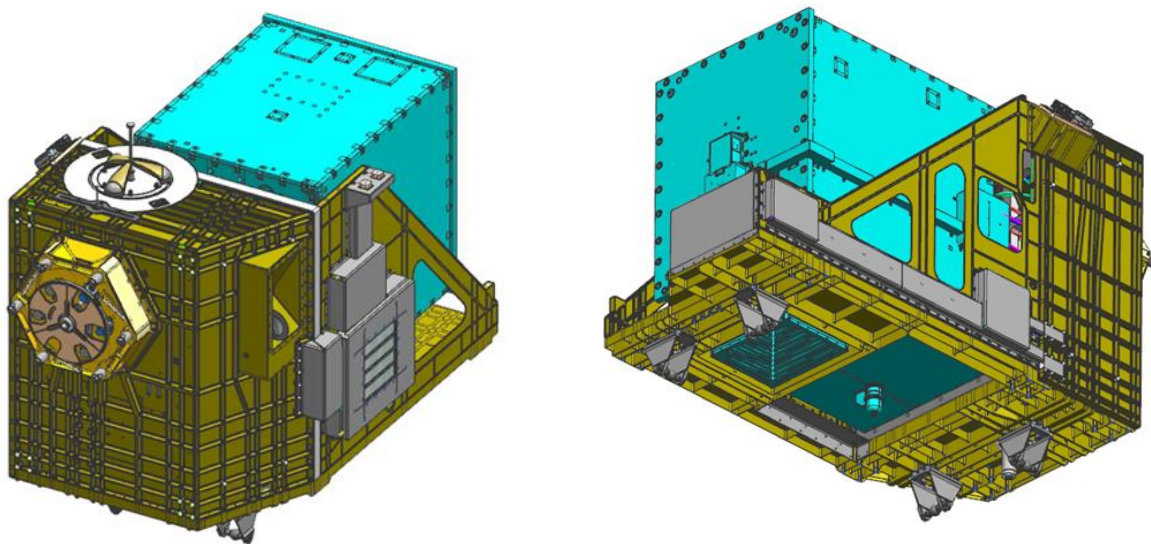


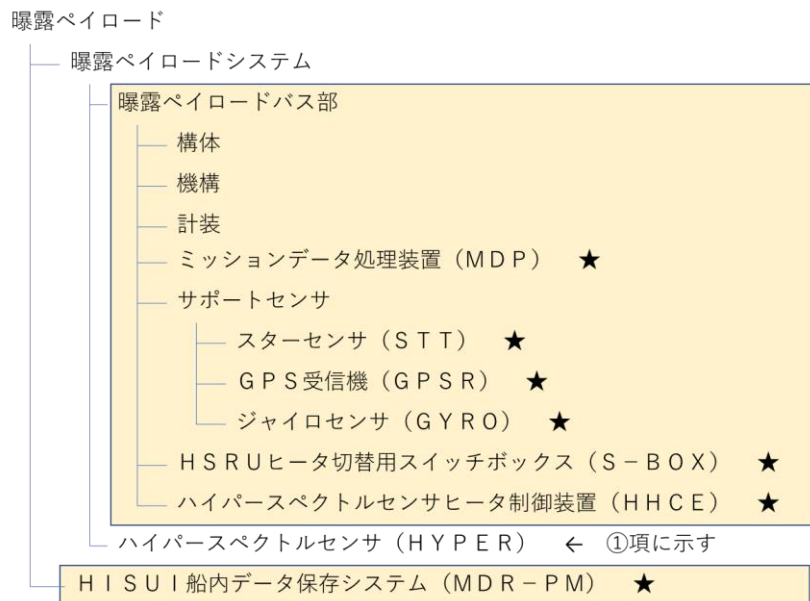
図 2-②-3 曝露ペイロードシステム外観図

船内データ保存システムは JEM 与圧室内に設置され、曝露ペイロードシステムから送信されてき

た観測データ、軌道・姿勢情報および各種装置作動情報を交換可能なストレージデバイス (HDD) に記録すると共に、一部の観測データおよび軌道・姿勢情報および各種装置作動情報を地上にダウンロードする。また、地上から指示により指定された観測データを地上にダウンロードする。

ア. 曝露ペイロードバス部および船内データ保存システムの製造・単体試験

曝露ペイロードを構成する下図の黄色ハッチング部のコンポーネントの製造および単体試験を行った。



★印を付けたコンポーネントが単体試験実施対象コンポーネント

図 2-②-4 曝露ペイロード 製造・単体試験対象

単体試験を行ったコンポーネントのプロトフライトモデルは、要求された事項を満足し、フライトに供しうる品質を有していることが確認された。

イ. インテグレーション、試験

(A) システム組立

曝露ペイロードシステムの組立として、ハイパースペクトルセンサの搭載およびバス部の組立を実施した。

- ・MLI フィットチェック形態組立 (2018 年 9 月～11 月)
- ・ベーキング形態組立 (2018 年 10 月～12 月)
- ・ベーキングの実施 (2018 年 12 月)
- ・システム組立 (2019 年 4 月)

(B) システム試験

ペイロードシステムおよび船内データ保存システムについて、以下の試験を実施した。

試験の結果を認定試験後審査インプットパッケージにまとめ、認定試験後審査（PQR）を実施した。この結果、製造、検査及び試験を行ったプロトフライトモデルは仕様書の要求事項を満足しフライトに供し得る品質を有していることが確認された。

- ・機能試験（2019年4～5月）
- ・音響試験（2019年6月）
- ・電磁適合性（EMC）試験（2019年6月）
- ・アクセス性試験／FCIT試験（2019年8月）
- ・熱真空試験（2019年7月）
- ・最終性能試験（2019年8月）
- ・SUIFT試験（2019年8月）
- ・End To End試験（2019年9月）

(注)

FCIT試験：Flight Crew Interface Test の略。JAXA/NASA が実施するクルー作業の試験。

SUIFT試験：SDGF to UMBILICAL I/F FITCHECK TOOL の略。ISS のロボットアーム (SDGF:

Standard Dexterous Grasp Fixture) と HISUI のフィットチェックツールの適合性を確認する試験。

ウ. ISS、JEM および輸送機とのインタフェース調整

(A) JEM とのインタフェース検討

JEM 曝露実験ペイロードに対する標準的なインタフェース仕様の詳細については、以下の JAXA 文書に要求事項が規定されている。

- ・NASDA-ESPC-2563 「JEM ペイロードアコモデーションハンドブック Vol. 3
曝露部／ペイロード標準インタフェース管理仕様書」
- ・NASDA-ESPC-2564 「JEM ペイロードアコモデーションハンドブック Vol. 4
JEM マニピュレータ／ペイロード標準インタフェース管理仕様書」
- ・NASDA-ESPC-2567 「JEM ペイロードアコモデーションハンドブック Vol. 7
通信プロトコル・管制サービス標準インタフェース管理仕様書」

2015～2016 年度の基本設計検討において、曝露ペイロードシステムは、搭載するハイパースペクトルセンサの形状・質量により、上記文書に示される標準要求に対して一部の項目は適合しないことが識別された。

標準要求に適合しない項目については、別途「JEM 全体システム／ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサ I/F 管理仕様書 (JX-ESPC-101469)」を作成し、非適合事項の要求緩和について JAXA と調整を行い、仕様書に反映し制定された。制定されたインタフェース管理仕様書をベースライン文書

として、詳細設計審査会（2017年度7月、9月）を実施し、要求項目を満足することを確認した。

また 2018～2019 年度には、制定されたインタフェース管理仕様書に対して最新の設計情報をもとに JAXA と調整を行い、改訂されたA改訂インタフェース管理仕様書をベースライン文書としてインタフェース確認会を実施し、要求項目を満足することを確認した。一部の要求を満足できない部分については、デビエーションを申請し、JAXA の承認を受けた。

（B）輸送機(Dragon)とのインタフェース検討

曝露ペイロードシステムの ISS/JEM への輸送および廃棄には、SpaceX 社の Dragon 輸送機を使用する（図 2-②-5）。



図 2-②-5 SpaceX Dragon 輸送機

Dragon 輸送機のインタフェースに関する要求は、SpaceX 社文書の Dragon Interface Definition Document（IDD）に規定されている。詳細設計フェーズではこの IDD 要求事項を満足するように設計を行ったが、最終フェーズのインタフェース管理文書として、SpaceX 社より、Dragon/HISUI Launch ICD（Interface Control Document）が提示された。

インタフェースは熱放射、電磁適合性（EMC/EMI）、清浄度、構造、電気接合等である。

上記インタフェース要求文書の要求項目に対する検証を行いそのエビデンスについて整理し、SpaceX へ提出し、承認を受けた。（一部の要求を満足できない部分についても、SpaceX との調整の結果問題なしとして承認を受けた。）

また将来の廃棄段階でのインタフェース管理文章も提示され、必要情報を整理し、SpaceX へ提出し、すべて承認を受けた。（溶融解析で必要な構成品の材質情報も提示した。）

（C）SPDM とのインタフェース検討

曝露ペイロードシステムは、Dragon 輸送機から JEM 曝露部に移設するために、機械的把持用のインタフェースとして、H-fixture/MTC Target、電力受給用のインタフェースとしてアンビリカル・コネクタを有する。これらの SPDM とのインタフェースに関する要求は、JAXA の SSP（Space Station Program）文書に規定されており、開発仕様書の適用文書となっている。

上記 SSP 文書の要求項目に対する検証を行いそのエビデンスについて整理し、NASA へ提出し、すべて承認を受けた。

エ. 安全審査への対応

ハイパースペクトルセンサを ISS に搭載するためには、ISS/JEM の要求する安全要求に適合しなければならない。そのため、NASA/JAXA が行う安全審査に合格する必要がある。安全審査は開発工程に準じてフェーズ 0/1（基本設計終了近辺）、フェーズ 2（詳細設計終了近辺）、フェーズ 3（システム試験終了近辺）の 3 段階で行う。

ハイパースペクトルセンサの安全審査対応には、ハイパースペクトルセンサの ISS 搭載時に要求される安全に関する課題を抽出し、その対策を立案・実施する必要がある、そのためにはハイパースペクトルセンサのハードウェアの設計・解析の内容、構成する部品・材料に関する知見が必須となる。また、ISS の安全審査の要求事項や審査方法および対応の実務実績に基づく知見が必要である。

表 2-②-1 に、実施した安全審査のスケジュールを示す。フェーズ 3 までのすべての審査を、打上げ 4 ヶ月前の 2019/8 月までに完了した。

表 2-②-1 安全審査実施スケジュール

審査対象	FY H29 (2017)	FY H30 (2018)	FY H31 (2019)
曝露ペイロードシステム	▼JAXAφ0/1 SRP NASA φ0/1 SRP▼	▼JAXAφ2 SRP NASA φ2 SRP▼ Ground φ0/1/2 SRP▼	▼JAXAφ3 SRP ▼NASAφ3 SRP Ground φ3 SRP▼
船内データ保存システム	▼JAXAφ0/1/2 SRP	▼JAXAφ3 SRP	

オ. 輸送および射場作業

(A) 輸送作業

曝露ペイロードシステムと船内データ保存システムは、2019 年 9 月 20 日に輸送され、2019 年 9 月 24 日に NASA ジョンソン宇宙センター到着した。

(B) 射場作業

日本から輸送したすべての曝露ペイロードシステム関連貨物は、NASA ケネディ宇宙センター (KSC) 宇宙ステーション処理施設から、NASA 借用器材とともに SpaceX 社のインテグレーション施設に移動させてインテグレーション作業を行った。

射場作業は、2019 年 10 月 24 日～12 月 6 日の日程で、機材の受け入れ、SpaceX 社施設への移送/開梱、HISUI 単独作業、輸送機 (Dragon) への搭載作業 (Space-X 社との共同作業)、ノンフライトアイテムの取り外しに立ち合い、機材返送を実施した。

HISUI を搭載した Dragon の打上げは、ケープカナベラル空軍基地内からロケット Falcon 9 により 2019 年 12 月 5 日 (木) 12:29 (現地時間) に行われた

カ. 軌道上運用

(A) 初期機能・動作確認

2019年12月6日（日本時間）に打上げられた後、2019年12月10日に船内データ保存システムをJEM与圧部内に設置し、初回起動後の機器のステータスおよび基本動作の確認を行い、機器が健全であることを確認した。

また12月12日に曝露ペイロードシステムを輸送機(Dragon)のトランクからJEM曝露部に移設し、12月17日までの間に、起動後の機器のステータスと基本動作の確認を行い、機器が健全であることを確認した。

実施したタスクを以下に示す。また、図2-②-6にJEM曝露部に移設された曝露ペイロードシステムを示す。

実施日 (JST)	実施内容
2019/12/10	1. 船内データ保存システムの設置 2. 船内データ保存システムの起動・チェックアウト
2019/12/12	3. 曝露ペイロードシステムのJEM曝露部移設 4. 曝露ペイロードシステムの起動・チェックアウト
2019/12/13	5. 冷凍機制御部(GCE)の起動および冷凍機クールダウン実施 6. MDPフラッシュメモリ初期化実施
2019/12/16	7. ハイパースペクトルセンサ各機器 (HELU、SASP、VSP、HCALE) の起動/停止確認
2019/12/17	8. STT/GPSR非周期テレメトリの取得 (その1) 9. STT/GPSR非周期テレメトリの取得 (その2) 10. マクロコマンド書換確認実施



図2-②-6 JEM曝露部に移設されたHISUI

2019/12/23からは、定常運用に向けてマニュアルでのマクロ実行によるハイパースペクトルセンサ (HYPER) 観測機能の確認を行い、観測データが取得できることを確認した。

実施したタスクを以下に示す

実施日 (JST)	実施内容
2019/12/23	MDP フラッシュメモリ初期化 MDP 時刻同期
2019/12/24	ハイパースペクトルセンサ観測実行
2019/12/25～26	観測データ転送

なお、この期間のハイパースペクトルセンサのチェックアウト結果については①ウ(A)項に示した。

(B) チェックアウト～準定常運用

2020年1月に船内データ保存システム(MDR-PM)の不調により、曝露ペイロード(HISUI)とISS本体間の通信が途絶した。2019年度はその復帰を試みたが復旧できず、原因はMDR-PMのCPU系の故障と推定した。

2020年度、MDR-PMの機能を代替するために、JAXA 殿より借用した軌道上のラップトップPCを使用したシステムを構築した。(ii)項参照)

輸送機HTVによる上記代替システム構築用の追加器材の打ち上げ(2020年5月)を経て2020年7月中旬にMDR-PM代替機能を構築し、起動した。

一方、2019年度末から曝露ペイロードシステムの通信機器(MDP)の不調により通信が途絶えていたが、2020年8月末にパワーサイクル(上位電源のオフによる強制遮断/オン)を行うことで復活した。

2020年1月から中断していた初期チェックアウトを8か月遅れの9月から再開し、9月4日にはオーストラリアの初画像を取得した。(図2-②-7に示す)

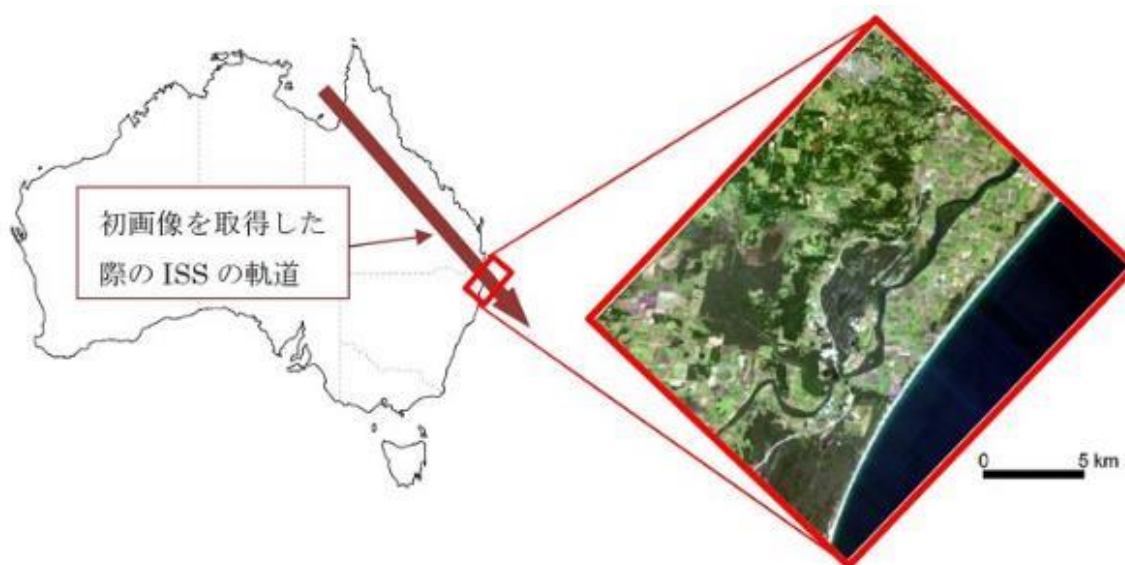


図2-②-7 HISUI 初画像

10 月にはハイパースペクトルセンサのオンボード補正のための補正係数を更新する運用を行った。また、10 月からはスケジュールファイルによる連続的な地表面観測、定期的な校正運用を実施している。以降、表 2-②-2 に示すように複数の不具合が発生したが、いずれも復帰している。

表 2-②-2 2019 年度～2020 年度 HISUI 軌道上運用実績

2019 年度	12 月	打上げ・設置 初期チェックアウト開始・機能確認実施
	1 月	MDR-PM 不調による通信途絶発生
	3 月	MDP 不調による通信途絶発生
2020 年度	5 月	MDR-PM 代替機能構築のための追加資材打ち上げ（HTV による）
	7 月中旬	JAXA 殿 PC 借用／MDR-PM 代替機能構築
	8 月末	MDP 通信途絶の復帰
	9 月	初期チェックアウト再開
		初画像取得／プレスリリース
	10 月	オンボード補正テーブル更新
	11 月	通信途絶再発／復帰
		観測データ転送不可事象発生／復帰
	12 月	MDP 突発的再起動発生／復帰
		第 1 回技術員会（初期運用評価報告）
1 月	観測データ転送不可事象再発／復帰	
2 月	通信途絶再発／復帰	
3 月	第 2 回技術員会（前期定常運用報告）	

(i) 健全性評価

曝露ペイロード、MDR-PM の健全性評価結果を以下に示す。

- ・初期チェックアウト及び不具合処理によって、定常運用に向けた各機器の基本的な機能と性能の確認を行うことができた。機器の温度維持も正常である。
- ・通信系の機能については、不具合再発の可能性が否定できない状態にある。安定稼働に向けた原因究明と対策検討を継続する必要がある。

サポートセンサの健全性評価結果を以下に示す。

- ・STT、GPSR については、妥当な出力が得られる時間が短いなど、期待した性能が得られていない。データ利用方法、改善策の検討が必要である。
- ・GYRO については残念ながら故障により使用不可となった。

ハイパースペクトルセンサの健全性評価結果については①ウ(A)項に示した。

(ii) MDR-PM 代替機能構築

不調となった船内データ保存システム（MDR-PM）の主要な機能を、JAXA 殿より借用するラップトップ PC で代用するためのシステムを構築した。

船内データ保存システム（MDR-PM）は、曝露ペイロードシステムから伝送される観測データを保管及び地上へ伝送するためのデータ保管・処理装置で、以下の主要機能で構成されている。

- ・データ処理端末
- ・メディア交換機

・データストレージ（ハードディスク（HDD））

上記データ処理端末の機能代替用に改修した MDR-PM ソフトウェアをラップトップ PC 上に搭載し、主要機能を実現させた。

データストレージ（HDD）は、当初は MDR-PM に6台を内蔵交換する方式であったものを、ラップトップ PC の USB ポートに4台接続し交換する方式とした。

通信用のメディア交換機は、MDR-PM 内蔵用のものを継続利用することとした。

③ 宇宙実証支援システムの開発

(a) HISUI 管制系システムの開発

HISUI 管制系システムは、筑波宇宙センターにある JAXA/ISS 運用管制系システム、及び HISUI 専用設備であるテレメトリ/コマンド処理装置と、J-spacesystems 拠点にある中速系データ受信・表示システムにて構成される。(図 2-③-1 参照)

テレメトリ/コマンド処理装置は、HISUI 宇宙機へのコマンド送信機能（低速通信系）を有するとともに、HISUI 宇宙機からのテレメトリデータを受信して表示する機能を有する。中速系データ受信・表示システムは、中速通信系で伝送されるテレメトリデータの受信・表示と、観測データの受信を行い、地上データ処理システムにそれらのデータを転送する。

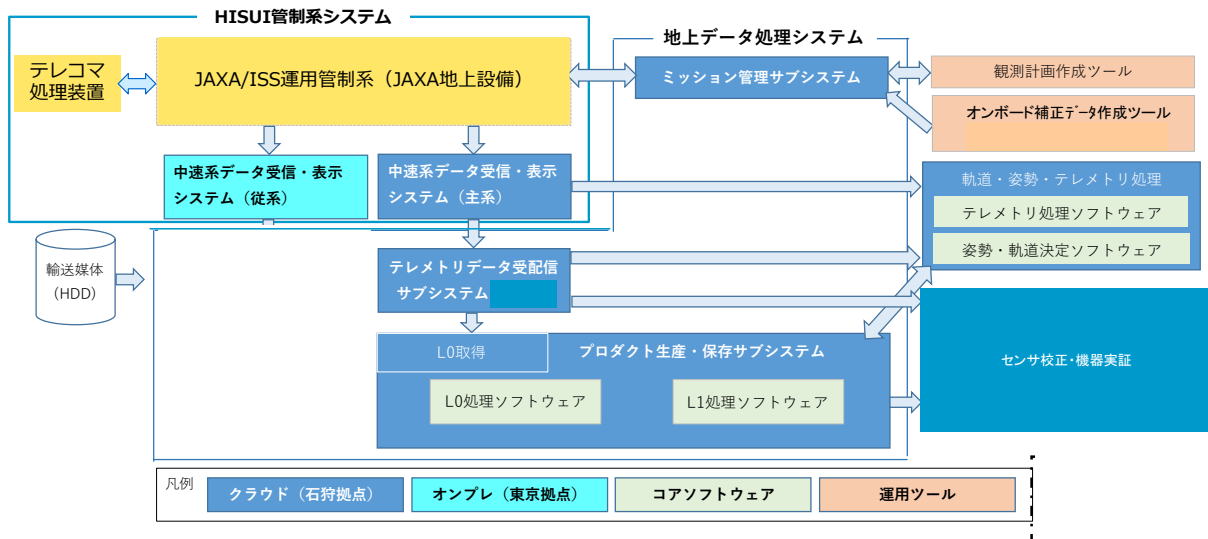


図 2-③-1 宇宙実証支援システム構成図

テレメトリ/コマンド処理装置及び中速系データ受信・表示システムについては、2019 年度に開発及び他設備間の接続試験を完了した。

また、同年度に JAXA のつくば宇宙センターに HISUI 宇宙機 (HISUI-Exp、MDR-PM) を持ち込み、ISS 運用管制系システム、テレメトリ/コマンド処理装置と接続して低速系・中速系 End-to-End 伝送試験を行い、宇宙機と地上設備間のインターフェースが正常にできることを確認して同試験を完了した。(表 2-③-1 参照)

表 2-③-1 HISUI 管制系システムにおける HISUI 専用設備の開発、関連試験の実施状況

項目名	概要	実施状況	評価結果
テレメトリ/コマンド処理装置の開発	コマンド送信、テレメトリ受信 表示	開発完了	達成
中速系データ受信・表示システムの開発	テレメトリデータ及び観測データ 受信、保存	開発完了	達成
HISUI 地上設備 組合せ試験	JAXA JEM 運用管制システムと J- spacesystems 地上データ処理シ ステム間の接続試験	試験完了	達成
HISUI 低速系・中速系 End-to-End 伝 送試験	低速系コマンド・中速系テレメ トリ確認 中速系ファイル転送確認 中速系コマンド確認 運用模擬試験	試験完了	達成

(b) 地上データ処理システムの開発（改修）

地上システムの大きな部分を占める地上データ処理システム(GDS)は、2017 年度までに、衛星搭載センサ用のシステムから、ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサ用に改修設計作業を実施して来た。2018 年度以降は、ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサ用のみを改修（製造）を進め、従来の衛星搭載センサ用のシステムは維持しないため、特に断りのない限り、地上データ処理システムは ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサ用を指すものとする。

2018～2020 年度にかけては、地上データ処理システムの改修作業、及び、GDS インタフェース試験・運用性試験を実施した。なお改修にあたり、衛星搭載版の地上データ処理システムの機能ごとに構成されているサブシステムを見直し、一部サブシステムの機能をソフトウェアや運用ツールで代替することで、ダウンサイズした。システム構成図を図 2-③-1 に、各サブシステムの機能概要を表 2-③-2 に示す。

表 2-③-2 地上データ処理システムの各サブシステム

No.	サブシステム	機能概要	開発状況
1	プロダクト生産・保存 サブシステム	テレメトリ受配信サブシステムが生成した L0 データセットから、プロダクト生産を行い、プロダクトの保存・管理を行う。また、利用者のプロダクト注文に応じたプロダクトの生産を行う。	改修完了
2	テレメトリ受配信 サブシステム	JAXA 地上システムから中速系データ受信・表示システムを経由して受信した観測データやテレメトリについて、後段のサブシステムでデータが円滑に処理できるよう、前処理として L0 データセットを作成し、プロダクト生産・保存サブシステムに配信する。	開発完了

No.	サブシステム	機能概要	開発状況
3	ミッション管理 サブシステム	つくば拠点の HISUI 運用者からのメール送信データを受信・管理し、東京拠点の HISUI 運用者が作成した観測計画データをメール送信する。	開発完了

一方で、2020年10月から、HISUI 管制系システム～地上データ処理システム間、地上データ処理システム～各種運用ソフトウェア／ツール間の GDS インタフェース試験・運用性試験の準備を行い、2021年2～3月に試験を実施し、地上データ処理システムの ISS 搭載を前提としたインタフェース部分のデータの授受、及び、運用性を確認した。

④ ハイパースペクトルセンサの実証

(a) 画像データ校正手法の開発

HISUI の画像データを、生データからユーザが取り扱うことができるプロダクトへと処理するため、波長・放射量および幾何に関して校正するための情報を整備し、それを地上処理ソフトウェアに実装していく。これらの校正情報については、初期チェックアウト後に軌道上のデータを取得し、そのデータの解析によって整備する。

ア. 波長・放射量の校正

波長・放射量の校正のため、内部光源校正（地上試験および軌道上試験）により取得したデータを解析した。その解析の結果、地上試験から軌道上試験への変化はないと考えられ、地上試験の結果を初期のラジオメトリックデータベース（生データを放射量補正するためのデータベース）として整備する方針とした。

感度についての結果を図 2-④-1 に示す。赤いラインが平均で、ほとんどゼロとなっているが、VNIR の BPF1 で 12%、BPF2 で 5%、BPF3 で 3%、SWIR の BPF3 で 5%、BPF4 で 4%程度大きくなっている。これらの差は測定した光源の輝度の増加によるものであり、地上試験から軌道上試験への変化はないと考えられる。

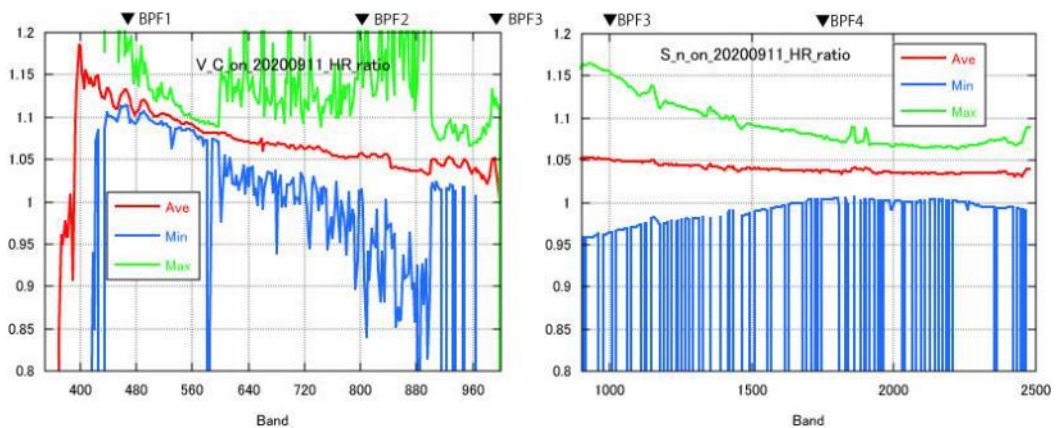


図 2-④-1 感度変化の解析結果

暗時輝度についての結果を図 2-④-2 に示す。VNIR では 0 で問題なく、SWIR では 0.1 程度のオフセットがみられるが問題となるレベルではない。また、オフセットの原因とみられる、SWIR 検出器、分光器には温度差がみられなかった。

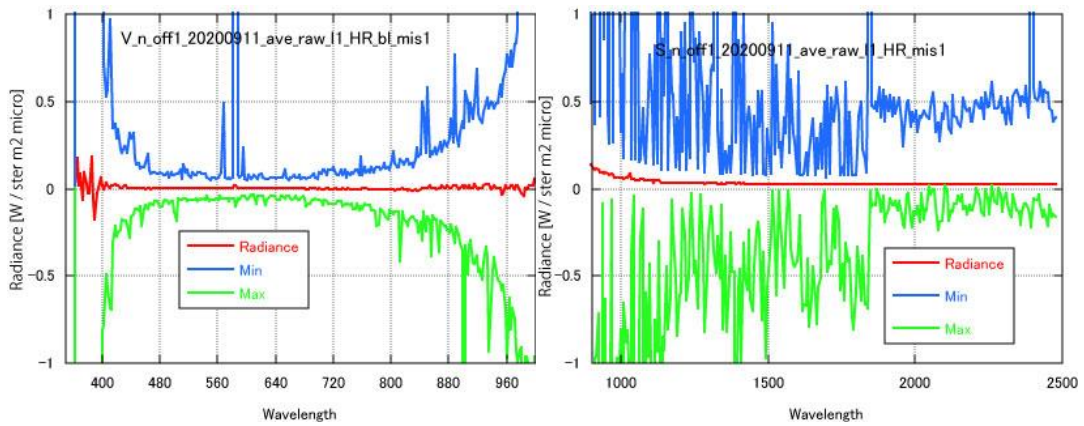


図 2-④-2 暗時輝度の解析結果

波長ずれの結果について表 2-④-1 に示す。地上試験（20190711）から軌道上試験（20200911）への変化はほとんどなかった。しかし、地上試験から波長ずれが検出されているため、内容を検証して実装することが今後必要となる。

表 2-④-1 波長ずれの解析結果

取得日時	ずれ(nm)		センサ 方向	環境
	VNIR	SWIR		
20160925	-0.4	-2.3	横向き	大気中
20161015	0.2	-0.5	横向き	真空
20180829	2.7	5.3	下向き	大気中
20190711	2.9	5.5	下向き	真空
20200911	2.3	5.5	—	宇宙

イ. 幾何の校正

HISUI においては、センサの視線方向を決定する上で必要な補助センサのうち、ジャイロセンサが故障、スターセンサが ISS の構造物の影響で視線がさえぎられる時間帯があること、GPSR センサがマルチパスの影響で受信できない時間帯があることから、ISS から提供される位置・速度および角度情報を組み合わせることで、センサの視線方向を決定することとし、そのためのアルゴリズムを開発した（図 2-④-3）。

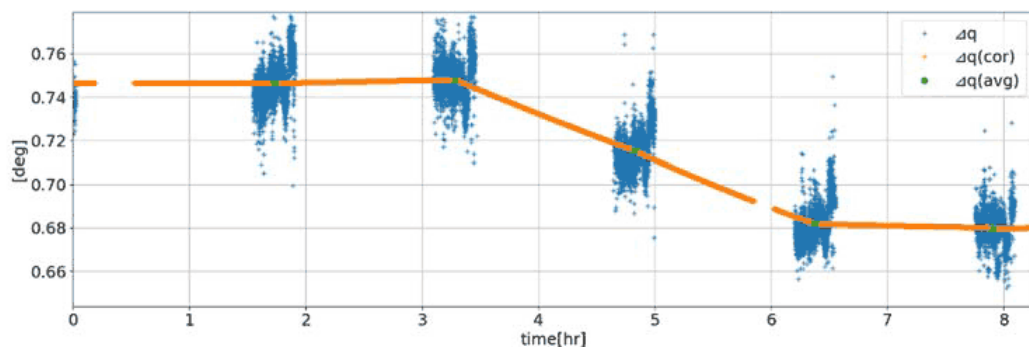


図 2-④-3 HISUI の視線方向の決定

STT データと ISS 補助データとの差異(水色)と補正量(橙色)

また加えて、地表面位置の誤差を測定する機能を実装した。地表面位置の誤差を測定する方法としては、Landsat によって撮像された GLS のデータを参照画像とした、面積相関を用いたテンプレートマッチングによって実施した。そして早速この機能を利用して時刻の誤差を評価した(図 2-④-4)。

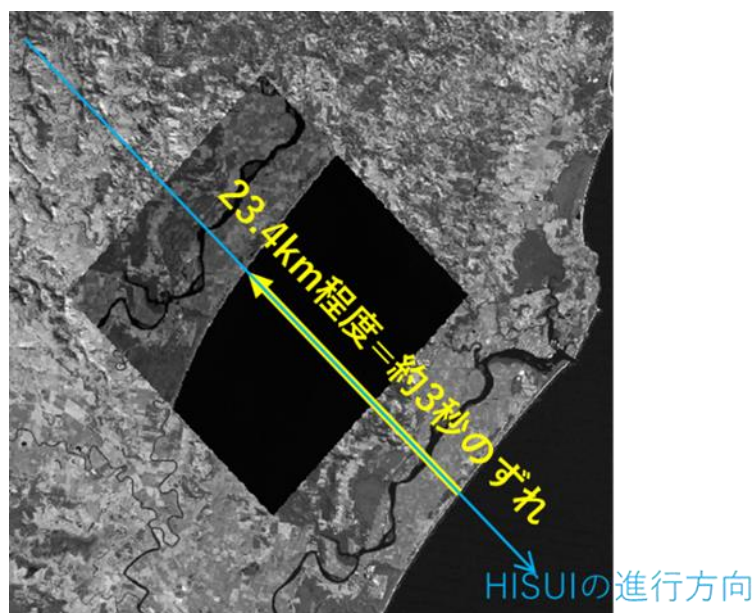


図 2-④-4 時刻の誤差の検討結果

今後、このような時刻の誤差に加えて姿勢情報の誤差についても合わせて評価し、地上処理においてその誤差に対応していくことが必要となる。

(b) 観測計画策定手法の開発

観測計画は1日単位で作成し、観測スケジュール作成・送信運用に従って HISUI へと送信される。定常運用が開始されてから、予め不具合対応等により観測が実施されない日を除いて、観測計画の作成を実施した。

ア. 長期観測計画の策定

HISUI の長期観測計画は、観測要求をベースに、観測時間制限や太陽高度条件など多くの制約条件に基づいて策定される。その策定の際には長期観測シミュレーションを実施して観測結果を推定している。観測要求の種別と優先度について表 2-④-2 に示す。

表 2-④-2 HISUI 観測要求の種別

観測要求種別	説明	観測要求の例
重要観測	運用上必要な観測。HISUI の運用において絶対に必要となる特別な観測の要求であり、運用試験のための観測や内部光源校正等の特殊な観測などが該当する。	運用試験, 内部光源校正
実証観測 (P)	プロジェクト上必要な観測。HISUI プロジェクトを遂行する上で必要な観測で、代替校正, HISUI プロジェクト (METI) の利用実証, 大災害観測, 日本観測が該当する。	代替校正, METI 利用実証, 大災害観測, 日本観測
実証観測 (C)	協定機関との共同研究による利用実証に必要な観測。研究公募などが該当する。	研究公募
優先地域観測	世界の資源探査対象地域等の優先する地域を対象とし、雲無し・高太陽高度条件でカバーする観測。	石油堆積盆地、金属資源要求地域
全陸域観測	全陸域および浅海地域 (ISS 軌道範囲) を対象とし、雲無し・高太陽高度条件でカバーする観測。	

また、観測要求（優先地域観測および実証観測）について仮想して、長期観測シミュレーションを実施した。その結果の観測地域、および優先地域観測・実証観測の観測結果（達成度）について、それぞれ図 2-④-5・図 2-④-6 に示す。

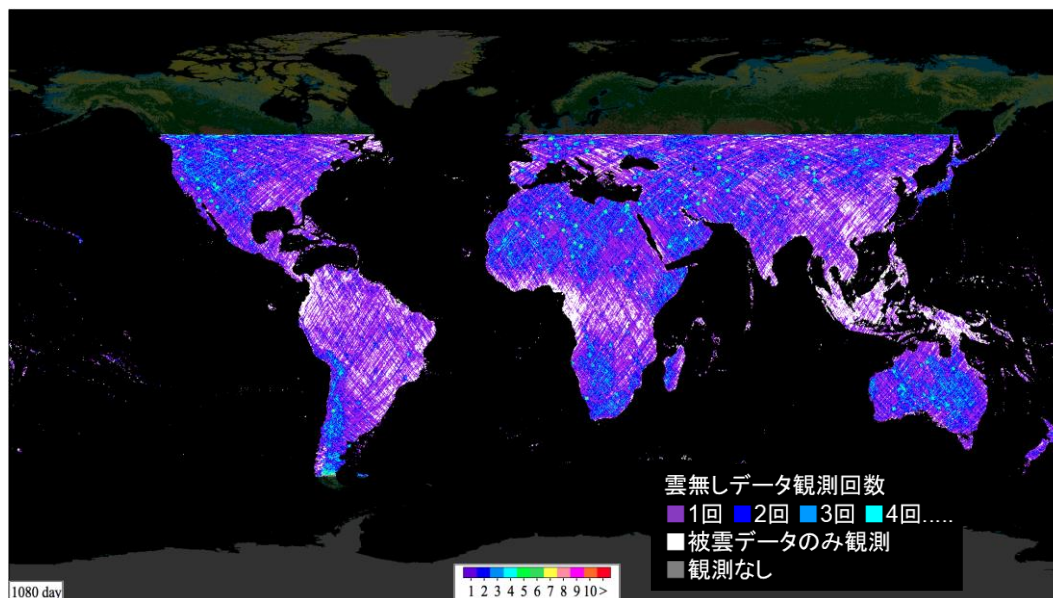


図 2-④-5 長期観測シミュレーション結果の観測地域 (3 年間)

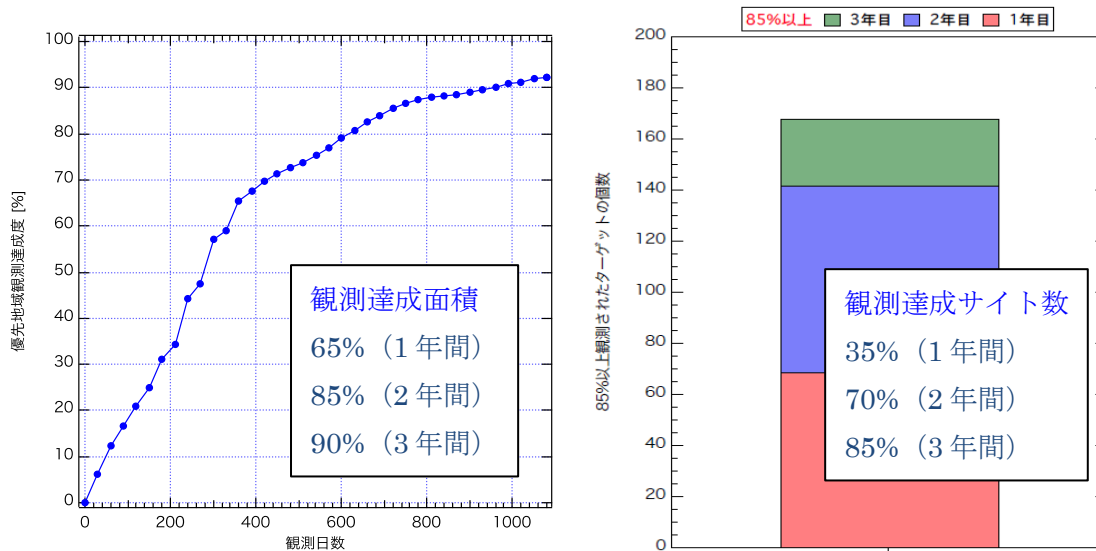


図 2-④-6 優先地域観測(左)・実証観測(右)の観測結果(達成度)

(A) 長期観測計画の更新

新たに JOGMEC より金属鉱物資源の有望地域の情報について提出を受けた。これに合わせて優先観測地域の対象地域の追加を実施した。具体的には、JOGMEC よりリクエストされた地域を、既存の優先地域観測である石油堆積盆地域に追加した。その結果、優先地域観測の面積が過剰に広大となり、他の観測要求への悪影響が大きいことが明らかとなった。そのため、資源探査には有効ではない領域、すなわち森林域および水域を除外して、最終的な優先地域観測の対象地域と設定した(図 2-④-7)。

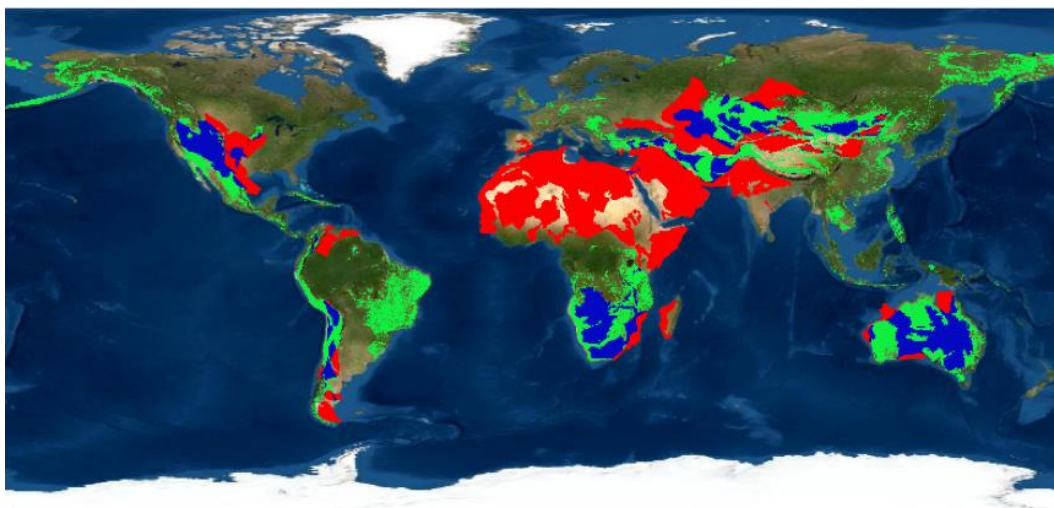


図 2-④-7 観測領域を追加した優先地域観測マップ
赤：石油堆積盆地域 緑：追加地域 青：重複地域

また、HISUI 研究公募からの、観測要求の提出に合わせて、観測計画作成パラメータの一つである、実証観測の対象地点について、定常的な更新を実施した。

以上の長期観測計画を更新にあたって、長期観測シミュレーションを実行した。観測地域については変化しているが（図 2-④-8）、達成度のパーセンテージについてはほとんど変化がないことを確認した。

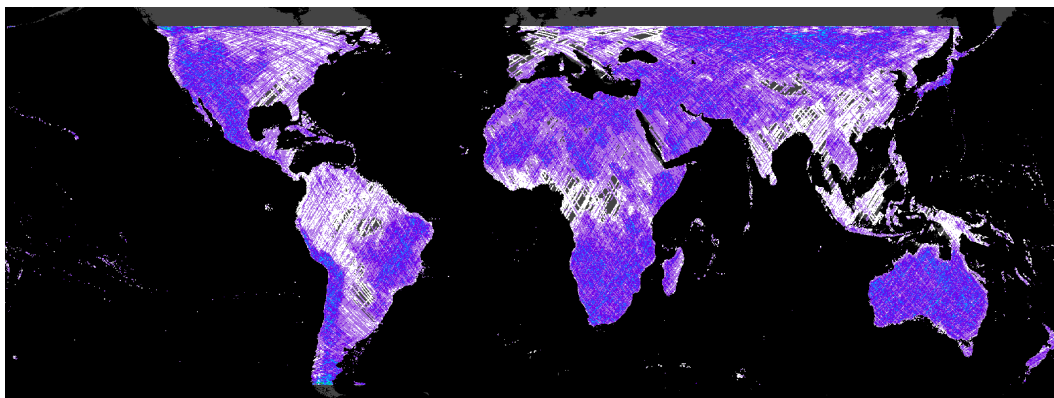


図 2-④-8 観測要求更新後の長期観測シミュレーション結果

（B） 観測計画作成に関する参照情報の整備

観測計画を作成する上で、被雲を避けるために、全球の晴天率マップを整備した。具体的には、2010年～2019年の10年間のTerraおよびAqua衛星搭載のMODISデータ、MOD35/MYD35を用いて実運用向けの雲被覆統計の整備を行った。

イ. 短期観測計画の運用

短期観測計画は長期観測計画に基づき1日単位で作成される。その1日単位の短期観測計画を作成するツール（観測計画作成ツール）を開発した。

そして、このツールにより、定常運用が開始されてから、予め不具合対応等により観測が実施されない日を除いて、短期観測計画の作成を実施した。

なお、運用上は「短期」を省略して単に「観測計画」と定義しているため、以降の記載においても同様に単に観測計画と表記する。

（A） 観測計画の構成

観測計画は、スケジュールファイル・ダウンロードリストファイル・サマリファイルの3種類によって構成される。

スケジュールファイルは、HISUIが実行するコマンドマクロと、その実行タイミングを記述したファイルで、HISUIはスケジュールファイルの記述にしたがって運用される（表 2-④-3）。

表 2-④-3 スケジュールファイル

スケジュールファイルの記載内容 [時刻(GPS),マクロ名,パラメータ1,2,3,4]	実行マクロの内容
**** Synchronize to GPS time **** 1287861896,TIMESYNC.mcr,ISS,, **** Normal observation 24 (4.6minutes) **** 1287861930,SV_SET_1_COMM.mcr,,, 0000000000,SV_SET_2_NOM_OBS.mcr,023,0,0,A 1287862235,SV_OBS_START.mcr,,, 1287862510,SV_OBS_STOP.mcr,,, 0000000000,SV_OFF.mcr,,, **** Transfer HYPER data to MDR-PM **** 1287862531,TRANS.mcr,2455,, 1287864986,TRANS_END.mcr,,, **** Initialize Flash Memory **** 1287865015,CLEAR_FLASH.mcr,BADCHK_DISABLE,, **** Load next schedule file **** 1287881465,SCHEDULE_START.mcr,20201028.scl,, EN	MDPの時計を同期 センサON 観測パラメータ設定 観測開始 観測停止 センサOFF 蓄積データ転送開始 蓄積データ転送停止 蓄積データ消去 翌日の.sclを読み出す 終了

ダウンロードリストファイルにより、与圧部の HDD に蓄積された HISUI 画像データから、所定の観測時刻のファイルを抽出して地上へダウンロードされる (表 2-④-4)。

表 2-④-4 ダウンリンクリストファイル

ダウンロードリストファイルの記載内容 [時刻(GPS),時刻(GPS),秒]	船内HDDから、抽出・地上へダウンロードする観測時刻の範囲
1287799620,1287799658,39 1287805440,1287805445,6 1287827677,1287827681,5 EN	1287799620~1287799658の39秒間 1287805440~1287805445の6秒間 1287827677~1287827681の5秒間 終了

サマリファイルには、1 日および 1 周回毎の合計観測時間、特別な観測やイベントの実行の有無、予測軌道およびスケジュールファイルにおける観測地点の地理的な位置の情報を記述している (図 2-④-9)。

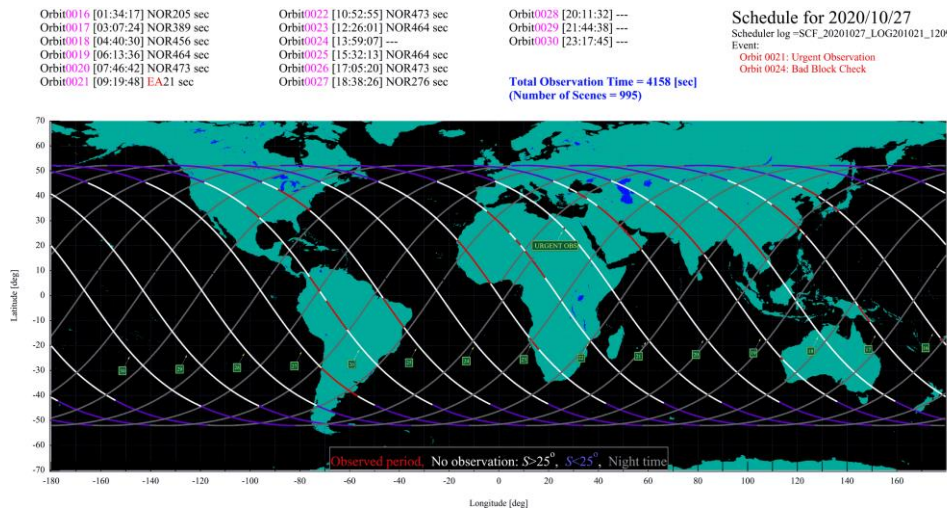


図 2-④-9 サマリファイル

そこで、2020/12/1, 12/25, 2021/1/1 に実施された MDP から MDR-PM へのデータ転送に際し、テレメトリデータから転送速度を計算した。

その結果、想定した転送速度（解凍時サイズ換算）である 65Mbps に対して、実際の転送速度は、約 64.2~94.4 Mbps の範囲であった。したがい、安全側を考慮して 64Mbps にパラメータを設定した。

(c) データの利用実証

定常運用が開始される事前に、初期チェックアウト後に取得した生データ（LOB データ）を使って、予備的にデータの品質を確認した。

具体的には、金属資源で重要となる鉱物の分布について、HISUI 生データから解析し、既存の航空機ハイパースペクトルセンサ HyMAP から解析した結果と比較・評価した（図 2-④-11・図 2-④-12）。

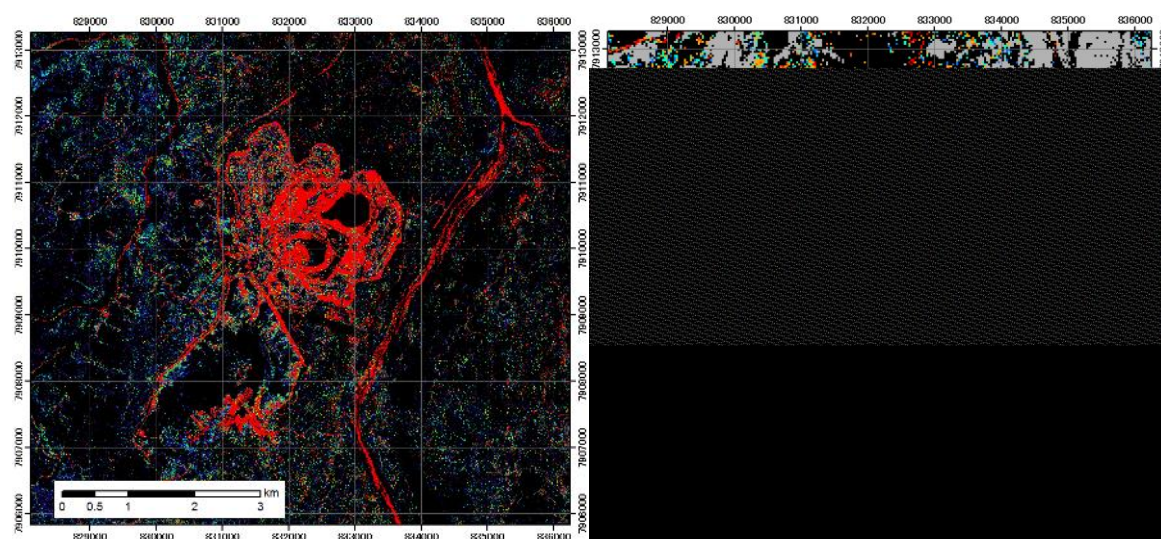


図 2-④-11 白雲母量の分布

左：HyMAP 右：HISUI

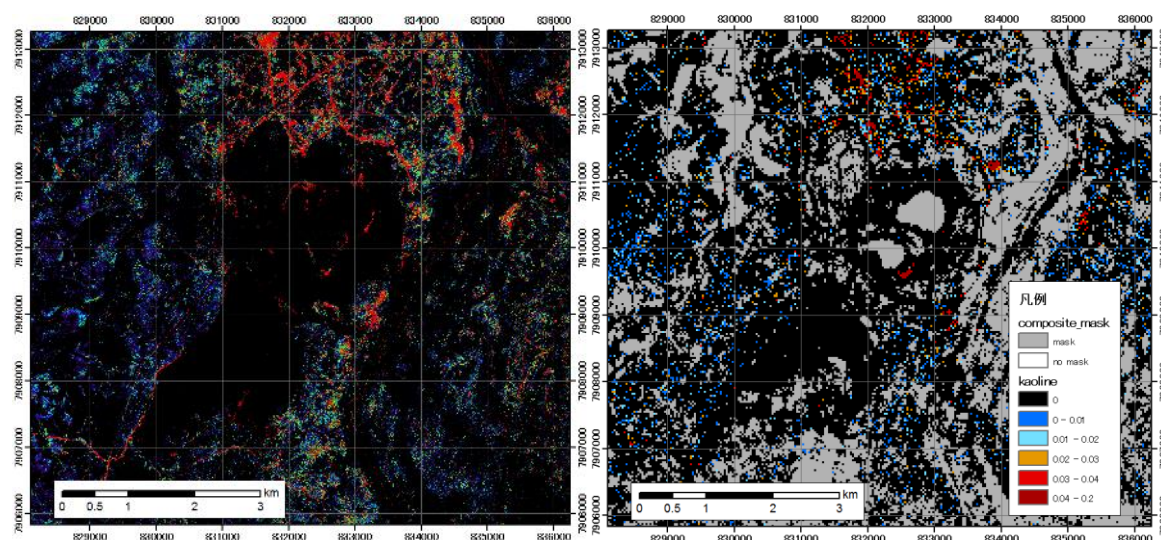


図 2-④-12 カオリン鉱物量の分布

左：HyMAP 右：HISUI

評価の結果、白雲母やカオリンのような 2200nm に吸収を持つ変質鉱物については、既存の結果との整合性が高く、ほぼ正しく検出が可能であることが明らかとなった。

3. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) 研究開発計画

ハイパースペクトルセンサのプロジェクトは衛星搭載用としてのセンサ開発を 2017 年度に開始した。2012 年度からの搭載衛星計画の変更の結果、2015 年度に ISS 搭載が決定し、ISS 搭載用に同センサを機能強化している。図 3-1 にプロジェクト全体のスケジュールを示す。

	H19 2007 年度	H20 2008 年度	H21 2009 年度	H22 2010 年度	H23 2011 年度	H24 2012 年度	H25 2013 年度	H26 2014 年度	H27 2015 年度	H28 2016 年度	H29 2017 年度	H30 2018 年度	H31 2019 年度	R2 2020 年度	R3 2021 年度	R4 2022 年度	R5 2023 年度
プロジェクト 事業評価			▲ NEDO中間評価		▲ NEDO成果報告 /METI中間評価				▲ METI中間評価			▲ METI中間評価				▲ METI中間評価	
衛星搭載用として のセンサ等開発	← 平成19年～平成28年度 →																
搭載衛星計画の変更	← 平成25年度～平成27年度 →																
ISS搭載用に改修・開発（進行中） 1) ハイパースペクトルセンサの開発 2) 曝露ベイロードの開発 3) 宇宙実証支援システムの開発 4) ハイパースペクトルセンサの実証	← 平成27年度～（進行中） →																

図 3-1 プロジェクト全体スケジュール

① ハイパースペクトルセンサの研究開発

本研究開発では、2016 年度までに高い波長分解能を有する高性能なハイパースペクトルセンサの技術の開発を行った。一方、2015 年度からは ISS 搭載用に同センサを機能強化している。

開発の内容は以下の通りである。

【2007 年度～2016 年度】

ア. センサシステムの設計

高性能な衛星搭載型ハイパースペクトルセンサの基本計画の実現を目的とした概念設計、基本設計、詳細設計、維持設計を行い、フライトモデルの開発仕様書の作成、維持を行った。

イ. センサシステムの要素技術開発

技術開発が必要な要素技術に関し、早期に性能実現の可能性を確認するための要素技術開発を行った。

ウ. 評価モデルによる検証

ハイパースペクトルセンサの設計の確認を行うことを目的として、熱構造モデルおよび機能評価モデルを開発し、検証を行った。

エ. フライトモデルの開発

センサシステムの設計に基づきハイパースペクトルセンサのフライトモデルを設計・製作し、

地上検証試験によりセンサ性能目標値の実現性を確認した。衛星軌道上での運用に必要な各種耐環境性、電磁適合性についても併せて検証した。

【2015 年度～】

オ. ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサの機能強化

「エ.」で開発したフライトモデルを、ISS 搭載用に機能強化する改修を行った。

カ. 軌道上実証

2019 年 12 月に打ち上げられ JEM 曝露部に設置された後、軌道上の実証を実施している。

② 曝露ペイロードの研究開発

本研究開発は、公募による選定審査手続を経て、一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構が経済産業省からの委託を受けて 2015 年度より実施した。①で開発してきたハイパースペクトルセンサを ISS に搭載するための JEM 曝露部設置用ペイロード（曝露ペイロードシステム）を開発し、2019 年度に SpaceX 社の Dragon 輸送機を用いて打上げられた。

打ち上げ後は JEM 曝露部に設置され、軌道上での実証を実施している。

③ 宇宙実証支援システムの研究開発

ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサの宇宙実証に必要な宇宙実証支援システムとして、JAXA ISS 運用管制系を經由して曝露ペイロードシステムと接続し、観測計画の送信、一部の観測データやテレメトリの受信を行う管制系システムの開発および HDD 輸送またはダウンリンクした観測データやテレメトリの受配信、プロダクトの作成、保尊管理等を実施する地上データ処理システムの開発を実施している。

④ ハイパースペクトルセンサの実証

ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサは 2019 年度下期に SpaceX/Dragon 輸送機で ISS に運ばれ、JEM 曝露部に設置されて運用を開始し、取得した画像の品質を高めるためのデータ評価を実施している。宇宙機の機能性能の実証については①および②にて実施している。また観測計画に基いて観測データを取得、宇宙実証システムでデータ処理されて利用実証に供される。

図 3-2 に、ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサ、曝露ペイロードおよび宇宙実証支援システムの研究開発およびハイパースペクトルセンサの実証および運用の全体スケジュールを示す。

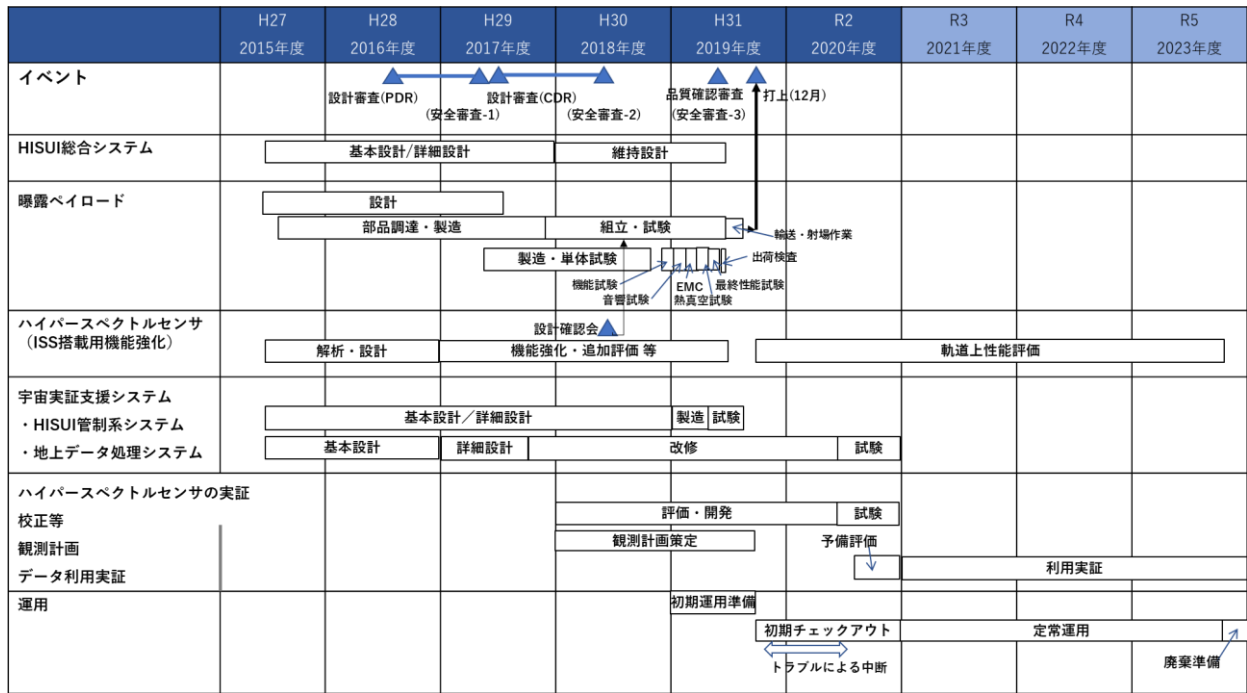


図 3-2 ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサ、曝露ペイロード、宇宙実証支援システムおよびハイパースペクトルセンサの実証、運用の研究開発スケジュール（2015～2023 年度）

(2) 資金配分

2007 年度から 2020 年度までの資金配分を表 3-1 および図 3-3 に示す。図 3-1、3-2 の全体スケジュールに基づき、事業計画（研究開発計画）の各項目に配分し、各々の進捗に従い、事業を適切に推進している。

表 3-1 資金年度配分

年度	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	合計
研究開発項目															
センサ															
ハイパースペクトルセンサ開発	465	950	2,373	2,033	2,170	1,634	835	220	59	10	-	-	-	-	10,749
ISS搭載用機能強化	-	-	-	-	-	-	-	-	227	51	126	133	113	104	754
曝露ペイロード開発	-	-	-	-	-	-	-	-	403	897	890	599	573	99	3,461
宇宙実証システム開発	-	-	-	-	-	166	695	430	182	192	135	65	123	385	2,373
宇宙実証	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	78	34	133	245
計	465	950	2,373	2,033	2,170	1,692	1,602	655	871	1,149	1,149	875	843	721	17,548

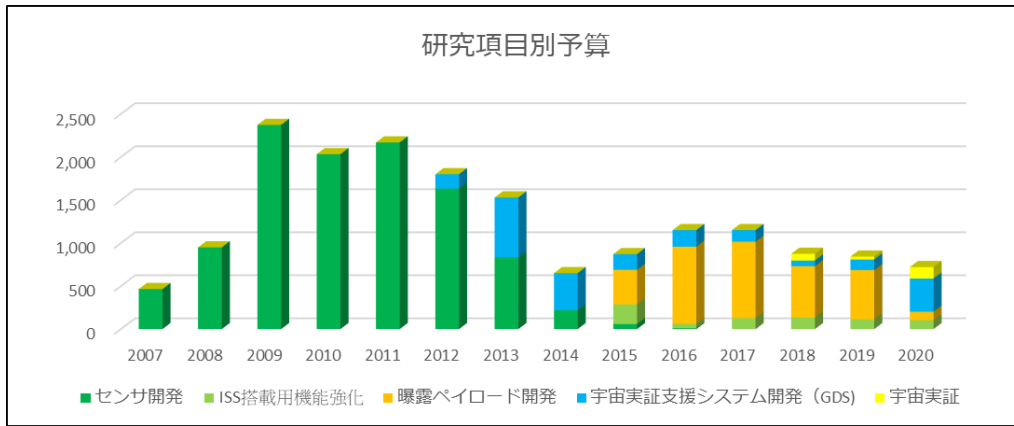


図 3-3 研究費目別予算

(3) 研究開発の実施・マネジメント体制

ハイパースペクトルセンサの研究開発および曝露ペイロードの開発（2015 年度～）の体制図を図 3-4 に示す。

研究開発実施者である一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構は、1986 年の設立以来、宇宙システム（衛星システム、地上システム、衛星リモートセンシング等）に関する研究開発、調査研究、普及啓発及び人材育成を行ってきており、資源探査用センサ JERS-1、ASTER 等の開発および 20 年以上の運用の経験を有し、ハイパースペクトルデータについてはその利用技術の研究開発を 2006 年から 12 年に亘り実施してきたおり、本事業を実施するのに適格である。

研究開発の実施にあたって経済産業省が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー：東京大学 岩崎晃教授）の下で効果的な研究開発を実施した。また研究開発内容の評価を適切に実施するため、国内有識者からなる委員会を機構内に設け、事業計画、実施結果等の審議を実施する「ISS ハイパースペクトルセンサ等研究開発技術委員会」を設置した。

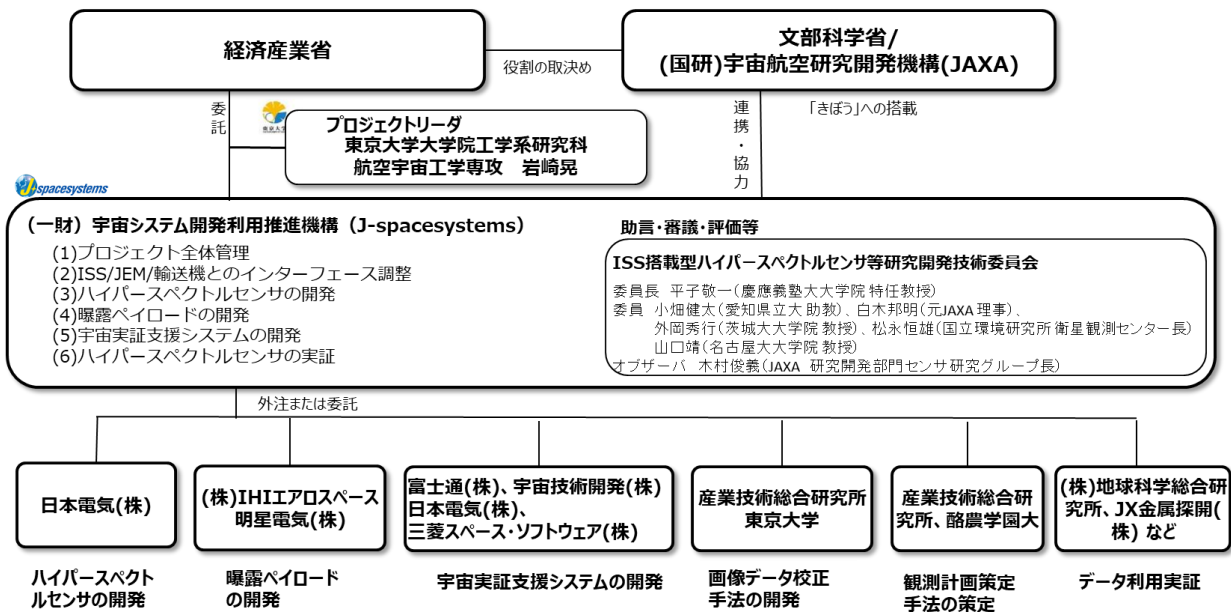


図 3-4 研究開発の実施体制

(4) 知財や研究開発データの取扱い

① ハイパースペクトルセンサ

ハイパースペクトルセンサは、メーカーが 2009 年度（国内）、2010 年度（外国）に以下に示す特許を出願しており、その管理についてはメーカーが対応している。

- 1) 特願 2009-150811 撮像装置、撮像方法及び撮像回路 (出願: 2009. 6. 25)
- 2) PCT/JP2010/0004034 (同上の国際特許) (出願: 2010. 6. 17)

③ ハイパースペクトルデータ

HISUI のデータは、他の宇宙用ハイパースペクトルデータに比べ、エネルギー資源・鉱物資源探査に有用な SWIR のデータの SN は、世界的にも最高レベルであり、その配布に際しては、経済安全保障の観点から国内企業の裨益が損なわれないように配慮する必要がある。

そのため、海外へのデータ配布に際しては、データを要求するユーザについて、予め利用目的、データの二次配付の禁止等の事前確認を行う一方、そのデータの観測地域が重要地域である場合には何らかの制限を付けるなど、産官学の関係者・有識者間で現在協議中であり、今後データポリシー、配付方針を決めていく。

一方、HISUI のデータそのものの保管場所は、民間のデータセンターを利用しており、外部からの違法な侵入を防ぐ、サイバーセキュリティについては十分安全対策が施され、データ流出のないような体制下で管理されている。

4. 事業アウトプット

(1) 研究開発目標

研究開発項目	中間目標 (2020年)	最終目標(2023年)	設定(変更)理由
ハイパースペクトルセンサの開発	<ul style="list-style-type: none"> ISS 搭載への適合性、目標性能を達成したハイパースペクトルセンサ HISUI の製造・試験を完了する。 品質確認に係る審査を実施後、打上げに供するため NASA 側へ引渡し、曝露部へ搭載し、観測を開始する。 	<ul style="list-style-type: none"> 観測を3年間程度行うとともに、機能性能を確認し、宇宙実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> 世界の石油堆積盆地域について約85~90%を観測するために必要な観測期間(3年間程度)を運用するため。
曝露ペイロードの開発	<ul style="list-style-type: none"> ISS 搭載への適合性、目標性能を達成した曝露ペイロードの製造・試験を完了する。 品質確認に係る審査を実施後、打上げに供するため NASA 側へ引渡し、曝露部および与圧部へ搭載する。 HISUI で観測したデータを船内データ保存システムに記録し、そのデータの一部を地上に伝送する。 	<ul style="list-style-type: none"> データの記録と伝送を3年間程度行うとともに、機能性能を確認し、宇宙実証が実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> 同上
宇宙実証支援システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙実証支援システムの製造・試験を完了する。 	<ul style="list-style-type: none"> 地上データ処理システムにより、L1 データを作成し、アーカイブする。 	<ul style="list-style-type: none"> 同上
ハイパースペクトルセンサの実証	<ul style="list-style-type: none"> HISUI データの校正に着手する。 HISUI の長期観測計画を立案し、それに基づき短期観測計画を運用し画像データを取得する。 宇宙実証システムで作成したLOB データを用いて処理・解析し、エネルギー資源、鉱物資源、その他分野での利用可能性について検討・評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> HISUI データを校正する。 観測計画の運用を3年間程度行う。 エネルギー資源分野、鉱物資源分野、その他の分野における実証を行い、その有用性について評価する。 本研究開発内容に係る論文または学会発表数 54 件以上、特許出願 2 件 	<ul style="list-style-type: none"> HISUI データの有用性を評価することで、国内ユーザが、エネルギー資源・鉱物資源分野のみならず、森林、防災、農業、環境、海洋等の様々な分野にて HISUI データを利用し、それぞれ直面する課題解決に貢献できるようにするため。

(2) 研究開発の成果

研究開発項目	中間目標（2020年度）	成果・意義	達成状況	未達の原因分析/今後の見通し
ハイパースペクトルセンサの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ISS 搭載への適合性、目標性能を達成したハイパースペクトルセンサ HISUI の製造・試験を完了する。 ・品質確認に係る審査を実施後、打上げに供するためNASA側へ引渡し、曝露部へ搭載し、観測を開始する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・開発した曝露ペイロードと共に2019年12月にISSに搭載した。 ・2020年9月4日に初画像を取得し、その後、観測運用を継続している。 	達成	-
曝露ペイロードの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ISS 搭載への適合性、目標性能を達成した曝露ペイロードの製造・試験を完了する。 ・品質確認に係る審査を実施後、打上げに供するためNASA側へ引渡し、曝露部および与圧部へ搭載する。 ・HISUI で観測したデータを船内データ保存システムに記録し、そのデータの一部を地上に伝送する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ISS 搭載用に機能改修したハイパースペクトルセンサと共に、2019年12月にISSに搭載した。 ・発生していた不具合を解消し、2020年9月4日に初画像を取得した。 ・その後、観測運用を継続している。 	達成	-
宇宙実証支援システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・宇宙実証支援システムの製造・試験を完了する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2020年9月4日に初画像を取得し、画像を公開した。 	達成	-
ハイパースペクトルセンサの実証	<ul style="list-style-type: none"> ・HISUI データの校正に着手する。 ・HISUI の長期観測計画を立案し、それに基づき短期観測計画を運用し画像データを取得する。 ・宇宙実証システムで作成したLOBデータを用いて処理・解析し、エネルギー資源、鉱物資源、その他分野での利用可能性について検討・評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・オンボード校正データを取得して解析した。 ・長期観測計画を立案するとともに、短期観測計画を運用した。 ・作成したLOBデータから、左記各分野での利用可能性の検討・評価を行った。 	達成	-

(3) 活動指標

年度	論文数	国内特許出願	国外特許出願	PCT 出願
2018 年	5 件	0 件	0 件	0 件
2019 年	5 件	0 件	0 件	0 件
2020 年	3 件	0 件	0 件	0 件

2017 年度までは 38 件

国際標準への寄与

現在および将来の宇宙用ハイパースペクトルのミッションに関する情報を共有する
“GSIS(Geoscience Spaceborne Imaging Stereoscapy)”は2007年に設立された(設立当初の名称 ISIS(International Spaceborne Imaging Spectroscopy))は国際コミュニティであり、HISUIはその設立当初からメンバーである。
GSISは、「国家宇宙機関、データプロバイダー、研究機関、ユーザコミュニティ間の新しいパートナーシップの機会提供」「地球科学コミュニティによる宇宙用ハイパースペクトルセンサが採用されるべく、ハイパースペクトルミッションに必要な基本となる機能に関する知識の構築」を目指し、全体会議を年1回開催し、情報交換を行っており、HISUIも毎年参加している。

プロトタイプの実験

HISUI ハイパースペクトルセンサは、既に ISS に搭載され、宇宙実証を進めている。

5. 事業アウトカム

(1) 事業アウトカムの内容

本事業のアウトカムとして、事業目的を踏まえ次の3項目を設定した。

- 1) エネルギー資源・鉱物資源分野の他、多様な分野でのデータの利用拡大
- 2) ハイパースペクトルデータの付加価値製品の開発と、その有償提供の開始
- 3) ハイパースペクトルセンサの販売

(2) 事業アウトカム目標

- ・ 2023年度までに取得した HISUI データを ISS から地上に輸送し、共同研究にて解析評価を行った成果を公表することで、エネルギー資源・鉱物資源分野のみならず、地球規模環境分野、森林、防災、農業、問題での利活用を広め、各分野での HISUI データ利用を増やす。
- ・ HISUI データとその解析事例等をデータプラットフォーム Tellus に搭載し公開するなどの環境整備を整えることでも、多くの企業ユーザにハイパースペクトルデータの利用価値を理解し、データ利用件数を増やす。
- ・ 今後、民間事業による多くの小型衛星データが増大することが予想される。HISUI データと、それらのデータとの組み合わせにより、新しい付加価値製品開発が見込まれる。
- ・ HISUI のような品質の良いデータ取得が可能なハイパースペクトルセンサの小型・軽量化が実現できると、小型衛星に搭載可能となり、コンステレーション運用も可能となるため、世界的に競争力のあるセンサとなり得る。

アウトカム目標		目標達成の見込み
2025年度	・ エネルギー資源・鉱物資源分野、地球規模の環境分野、森林、防災、農業、海洋等での HISUI データの利用拡大 ・ データ利用数 5400 シーン、共同研究応募 50 件以上（論文・学会発表 54 件、特許出願 2 件）。	・ 各分野の対象地域の観測データ取得とそのデータの提供可能時期に目標達成年度は依存するものの、計画通りの運用が実施できれば、達成の見込みはある。
2030年度	ハイパースペクトルデータの付加価値製品の開発と、その有償提供の開始	今後、衛星の小型化が進み、コンステレーション運用による観測の高頻度化、センサ技術の向上による観測波長帯の多バンド化等が進むことが想定され、それらのデータの組み合わせによる付加価値製品開発が可能となる。
2035年度	ハイパースペクトルセンサの販売	センサの高空間分解能化、小型軽量化を実現し、小型衛星搭載化する必要がある。

6. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

事業アウトカム達成に至るまでのロードマップを図 6-1 に示す。事業終了までの期間、「ハイパースペクトルセンサの高度利用に係る研究開発」において、潜在的なユーザとなりうる研究機関や民間企業が 7 分野の研究開発を実施した。これらの研究機関や民間企業が、宇宙機に搭載されたハイパースペクトルセンサの運用開始とともに、開発した技術の宇宙実証を行い、目標最終年度にはエネルギー・資源の安定供給、地球規模の環境問題への対応等に資する成果をもたらす計画である。これらの成果は、将来的にハイパースペクトルデータを用いた新規ビジネスの創出や、データ及び付加価値情報の販売などの収益モデルに繋がるものと期待される。

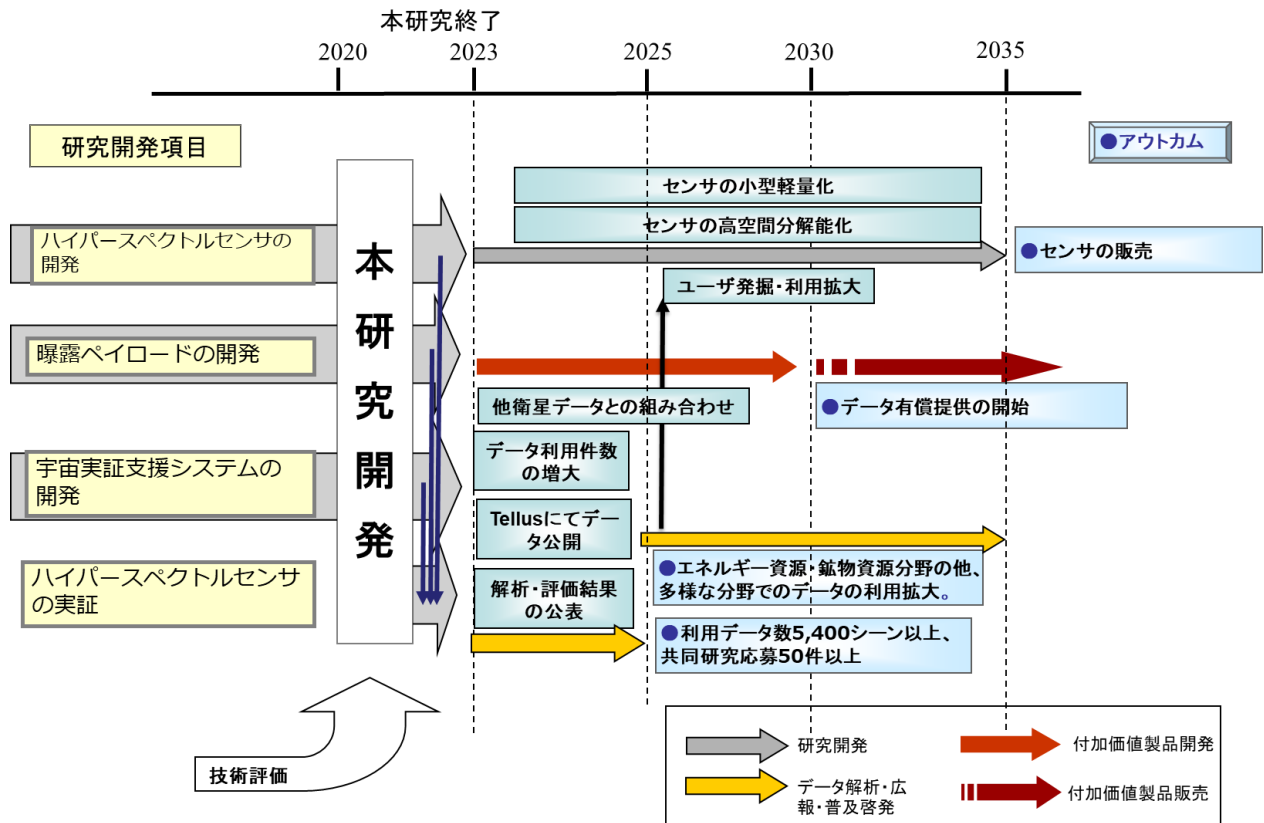


図 6-1 目標最終年度、さらにその後のビジネス化に向けたロードマップ

C 宇宙太陽光発電における無線送電技術の高効率化に向けた研究開発

上位施策名	宇宙基本計画（令和2年6月閣議決定） 宇宙産業ビジョン2030（平成29年5月宇宙政策委員会決定） エネルギー基本計画（令和3年10月閣議決定） 環境エネルギー技術革新計画（平成25年9月総合科学技術会議決定） エネルギー・環境イノベーション戦略（平成28年4月総合科学技術・イノベーション会議決定）						
担当課室	経済産業省製造産業局宇宙産業室						
目的	将来の新エネルギーシステムとして、昼夜や天候に左右されず電力の計画的供給が可能な宇宙太陽光発電システム（SSPS：Space Solar Power System）の実現が期待されており、これまで、我が国はもちろん、海外においても、様々な検討や技術開発が行われてきた。 本事業では、宇宙太陽光発電システムの中核的技術であるマイクロ波無線送電技術に係る研究開発を実施し、当該技術の高度化を目指す。						
類型	複数課題プログラム / 研究開発課題（プロジェクト） / 研究資金制度						
実施時期	2014年度～2023年度（10年間）	会計区分	一般会計 / エネルギー対策会計				
評価時期	事前評価：2013年度 中間評価：2015、2018年度、2021年度 終了時評価：2024年度（予定）						
実施形態	国 → 一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構（委託）						
プロジェクトリーダー	なし						
執行額（百万円）	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	総執行額	総予算額
	249	249	250	250	250	1,743	1,750

1. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況

国内では戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）IoE 社会のエネルギーシステムにおいて、ワイヤレス電力伝送（WPT）システムへの応用を見据えた次世代電力伝送システムの開発、屋内センサーネットワークやモバイル機器への WPT システムの開発、多様な用途を見据えた飛行中のドローンへの WPT システムの研究開発が実施されている。

また、海外では米国での宇宙太陽光発電の再評価や、中国における積極的な開発が進展。

- ・ 2020 年、国際宇宙ステーションでのマイクロ波送電デモ。無人宇宙往還機 X-37B でのモジュール実験（米国）
- ・ 2021 年、空軍研究所 (AFRL) が軌道上実証試験を 2023 年～2024 年に計画（SSPIDR）（米国）
- ・ 2020 年、欧州宇宙機関 (ESA) が地上及び月面における宇宙太陽光発電への取組に関する新アイデア公募（EU）
- ・ 2020 年、英国宇宙局 (UKSA) が Frazer-Nash と Oxford Economics に宇宙太陽光発電 F S 調査委託
英国宇宙局は、2031 年の衛星実証、2039 年の初期運用、2043 年の実用化を目指す（英国）
- ・ 2018 年、宇宙太陽光発電実験基地を重慶市で建設開始。西安大学が宇宙太陽光発電プロジェクトを開始（中国）

2. 研究開発の内容

（1）研究開発の全体構成

研究開発項目		実施者
①発送電一体型パネルの開発 【一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構】	(a) 発送電一体型パネルの開発	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構、株式会社 IHI エアロスペース、学校法人早稲田大学、株式会社テクノソルバ、株式会社翔エンジニアリング
②送電部の高効率化 【一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構】	(a) 送電部の高効率化	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構、国立大学法人電気通信大学、株式会社 R F デバイステクノロジーズ、株式会社オリエントマイクロウェーブ、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
③長距離送電の実証 【一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構】	(a) 長距離送電の実証	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構、三菱電機株式会社
④マイクロ波無線送受電技術のスピノフ 【一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構】	(a) マイクロ波無線送受電技術のスピノフ	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

(2) 各研究開発項目の実施内容

① 発電電一体型パネルの開発

宇宙太陽光発電システムは、宇宙太陽発電衛星を静止軌道に打ち上げ、発電した電気をマイクロ波に変換して地上に伝送し、利用するシステムである。宇宙太陽発電衛星は、バス部からパネルを吊り下げる構造のため、静止衛星軌道上で常に発電できるように、発電電両方の機能を有するパネルが必要になる。

そこで、本研究開発では、宇宙太陽光発電システムの実現に必要な発電電一体型パネルの開発と実証を行う。

具体的には、パネルの上面は太陽電池セル、下面は太陽電池セルと送電アンテナ（5.8 GHz帯）を同一面に配置し、表裏の発電量の差及びアンテナの効率の変化を確認の上、最適なアンテナと太陽電池セルの混載方式を選定する。なお、開発する発電電一体型パネルは、50cm×50cm程度とし、軽量化が必要なことから36kg/m²を目指す（これまでの研究開発では送電パネルのみで44.7kg/m²）。また、開発した発電電一体型パネルを用いて、発電及び送電できることの実証、及び熱構造設計の妥当性について確認する。なお、実証においては、太陽電池で発電した電力のみを供給源とする（外部電力を使用しない）試験を実施する。

令和元年度から2年度にかけては、地上評価モデルの要求・仕様の検討を実施したほか、宇宙実証試験の検討や発電電一体型パネルの要素試作に向けた検討を行った。

② 送電部の高効率化

宇宙太陽光発電システムはマイクロ波により電力を伝送するシステムであるため、その伝送効率を向上させることが課題の一つとなっている。

このため、本研究開発では、送電部の高効率化に関する研究開発を実施する。

具体的には、宇宙太陽光発電システムでの採用を検討している5.8GHz帯でのマイクロ波無線送電技術に関し、送電部の高効率化のための方式及び機能性能配分の検討や試作を行い、送電部の供給電力（DC）と送電出力電力（RF）の比である総合効率60%を目指す（これまでの研究開発では44%）。

令和元年度から2年度にかけては、送電部の構成要素の試作に向けた調整・検討を行った。

③ 長距離送電の実証

宇宙太陽光発電システムでは、静止軌道上の宇宙太陽発電衛星から地上の受電部までの長距離をマイクロ波で伝送する技術が必要となる。

このため、本研究開発では、長距離（垂直方向、1～5km）での送電実証を実施する。

具体的には、供給電力は商用電源を使用し、長距離（1～5km）、垂直方向のマイクロ波電力伝送により、大規模無線送電システムに資する多素子の位相同期による無線送電技術及びビーム形成技術を多数枚パネル（全体で2m×2m程度）で実証する。なお、実証では、ビームパターンの測定を実施する。

令和元年度から2年度にかけては、全体システムの検討や概念設計を行った。

④マイクロ波無線送受電技術のスピノフ

宇宙太陽光発電システムの要素技術であるマイクロ波無線送受電技術は、他の非接触給電方式と比べて、長距離間の送受電が可能となることから、様々な利用の場での活用が期待されている。このため、マイクロ波無線送受電技術の他産業での応用を促進するための取組を実施する。

令和元年度及び令和2年度に、ビジネス化研究会の開催及び展示会への出展を行った。

3. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) 研究開発計画

研究開発計画を示す。

研究開発項目	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018/2019年度
マイクロ波無線送受電システムの基盤技術開発					
(i) 高効率化に資する研究開発 ・電力-マイクロ波変換効率 ・マイクロ波-電力変換効率	一次試作評価▽	二次試作評価▽ 高効率化素子開発	HPA素子試作評価▽	送電部高効率化の検討・送電部開	受電部高効率化の検討・受電部開
(ii) 薄型軽量化に資する研究開発		要素検討	要素試作評価		
		半導体試験装置整備			
		薄型軽量化試作開発	レクテナアレイ試作評価▽		
マイクロ波無線送受電技術の産業応用/ビジネス化の推進		産業応用調査		ビジネス化の推進	
ビジネス化研究会 展示会			▲▲▲	▲▲▲	▲▲▲
宇宙太陽光発電システムのロードマップの作成	宇宙実証構想検討		ロードマップ案の作成		
垂直方向マイクロ波無線送受電技術実証				試験計画及び準備	実証試験

研究開発項目	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
宇宙太陽光発電における無線送受電技術の高効率化に向けた研究開発					
① 発電電一体型パネルの開発	地上評価モデル	要求・仕様検討	システム設計	製作・試験	実証試験
		技術課題研究 宇宙実証実験検討及び発電電一体型パネルの要素試作・評価等			
② 送電部の高効率化	最終段	単体増幅器の試作・評価	パッケージング検討	ドライバ段・最終段一体化	ドライバ段・最終段・移相部一体化
	ドライバ段	MMIC試作・評価	段間回路MMIC設計		
③ 長距離送電の実証		全体システム検討・概念設計	基本設計	詳細設計	製作・試験
					実証試験
④ マイクロ波無線送受電技術のスピノフ ビジネス化研究会 展示会	▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲

(2) 資金配分

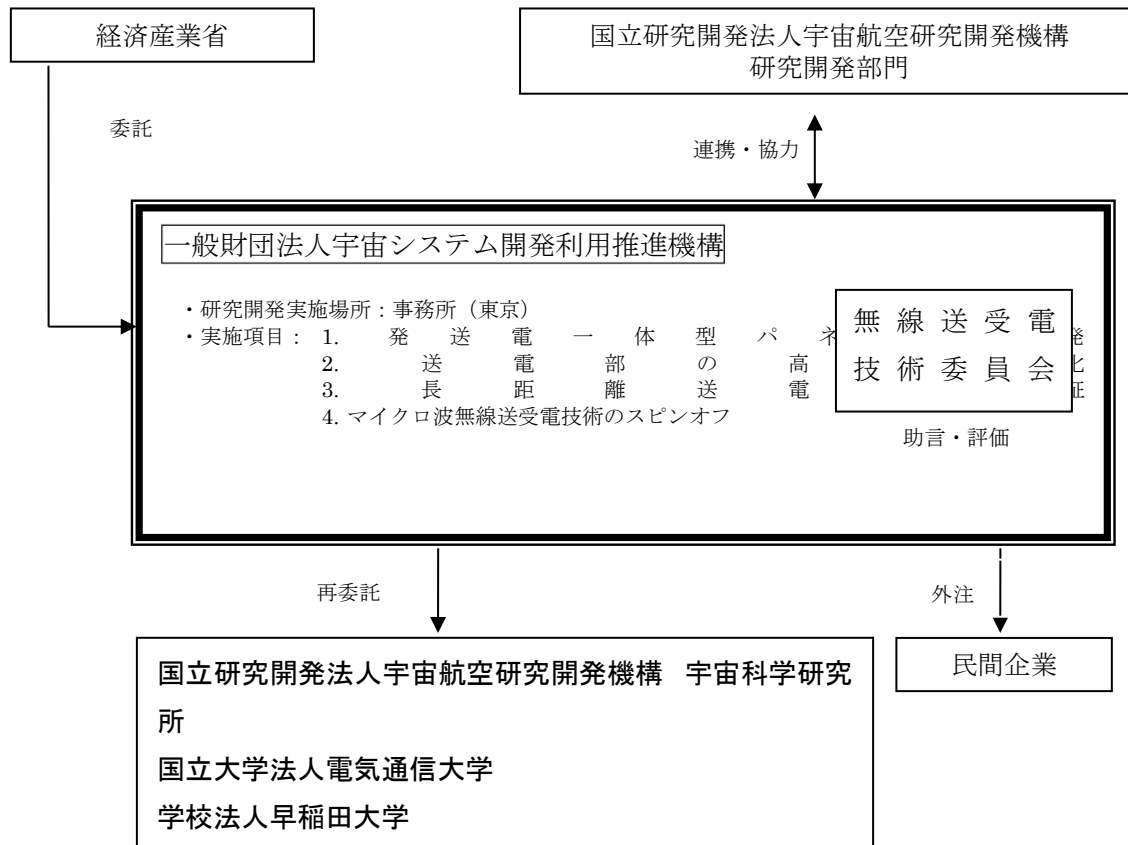
事業開始から 2020 年度（令和 2 年度）までの資金配分の年度推移を示す。

研究開発項目	2014FY	2015FY	2016FY	2017FY	2018/ 2019FY	合計
マイクロ波無線送電システムの基盤技術開発	—	—	—	—	—	—
①高効率化に資する研究開発	75 (委託)	87 (委託)	119 (委託)	121 (委託)	59 (委託)	461 (委託)
②薄型軽量化に資する研究開発	158 (委託)	151 (委託)	113 (委託)	0	0	422 (委託)
マイクロ波無線送電技術の産業応用/ビジネス化の推進	2 (委託)	3 (委託)	10 (委託)	19 (委託)	12 (委託)	46 (委託)
宇宙太陽光発電システムのロードマップの作成	12 (委託)	7 (委託)	7 (委託)	0	0	26 (委託)
垂直方向マイクロ波無線送電技術実証	0	0	0	109 (委託)	179 (委託)	288 (委託)
計	247	248	249	249	250	1,243

研究開発項目	2019FY	2020FY	合計
①発送電一体型パネルの開発	140 (委託)	135 (委託)	275 (委託)
②送電部の高効率化	16 (委託)	26 (委託)	42 (委託)
③長距離送電の実証	90 (委託)	88 (委託)	178 (委託)
④マイクロ波無線送電技術のスピンオフ	4 (委託)	1 (委託)	5 (委託)
計	250	250	500

(3) 研究開発の実施・マネジメント体制

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構が経済産業省からの委託を受けて実施した。また、再委託先として国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所が参加した。(図 5-1 参照) また、研究開発の実施に当たっては、助言・評価のため、無線送受電高効率化技術委員会を設置した。



(4) 知財や研究開発データの取扱い

本事業は、「知的財産マネジメントに係る基本方針」、「データマネジメントに係る基本方針」に従って、知的財産及び研究開発データについて適切なマネジメントを実施している。具体には「知的財産権及びデータの取り扱いについての合意書」を作成し事業参加者間で締結し管理している。

4. 事業アウトプット

(1) 研究開発目標

研究開発項目	中間目標 (2021 年)	最終目標 (2023 年)	設定 (変更) 理由
送受電部の高効率化に関する研究開発の実施	1 事業/年	1 事業/年	宇宙太陽光発電システムの重要な要素技術であるマイクロ波無線送受電システムの基盤技術に関する研究開発事業数をアウトプット指標として設定した。 具体の研究開発項目については、研究開発ロードマップに基づき抽出。

(2) 研究開発の成果

研究開発項目	最終目標 (2023 年度)	成果・意義	達成状況	未達の原因分析/今後の見通し
発送電一体型パネルの開発	開発した発送電一体型パネルを用いて、発電及び送電できることの実証、及び熱構造設計の妥当性について確認する。	発送電一体型パネル地上評価モデルの設計を計画通り実施中。 将来の発送電一体型パネルの性能の実現の検討、並びに次フェーズの低高度からの電力伝送実験を行う低軌道実証衛星への要求仕様の作成のための開発を実施中。	—	研究開発実施中
送電部の高効率化	送電部の高効率化のための方式及び機能性能配分の検討や試作を行い、送電部の供給電力 (DC) と送電出力電力 (RF) の比である総合効率 60% を目指す	送電部の直流電力/マイクロ波電力変換用高効率増幅器に関し、ドライバ段を含めた多段構成全体での高効率化を目指し、最終段増幅器の周波数調整および、ドライバ段専用増幅器を開発し、評価を実施した。	—	研究開発実施中
長距離送電の実証	長距離 (1 ~ 5 km)、垂直方向のマイクロ波電力伝送により、大規模無線送電システムに資する多素子の位相同期による無線	実証試験計画の検討、送電部の基本設計等を実施している。	—	研究開発実施中

	送電技術及びビーム形成技術を実証する。			
マイクロ波無線送受電技術のスピノフ	マイクロ波無線送受電技術の他産業での応用を促進するための取組を実施する。	展示会への出展、ビジネス化研究会の開催を実施している。	—	

(3) 活動指標

年度	論文数	国内特許出願	国外特許出願	PCT 出願
2018 年	11 件	2 件	5 件	1 件
2019 年	6 件	1 件	0 件	0 件
2020 年	4 件	1 件	4 件	0 件

※論文数には対外発表のみも含む

国際標準への寄与
なし

プロトタイプ作成
なし

5. 事業アウトカム

(1) 事業アウトカムの内容

宇宙太陽光発電システムは太陽電池で発電した直流電力をマイクロ波に変換して送電アンテナから地上に向けて送信する。したがって変換効率は宇宙太陽光発電システムを考えるうえで重要な指標であり、送電部の変換効率をアウトカム目標として設定した。また、宇宙太陽光発電システム構築の低コスト化に当たっては送電システムの薄型軽量化が必要不可欠であることから、発送電一体型パネル単位面積当たり質量をアウトカム目標として設定した。

(2) 事業アウトカム目標

アウトカム目標		目標の設定理由	目標達成の見込み
2023 年	周辺回路を含めた送電部の変換効率を 60%に改善	研究開発ロードマップに基づき設定	研究開発中
2023 年	発送電一体型パネルを 36kg/m ² に改善	研究開発ロードマップに基づき設定	研究開発中

①周辺回路を含めた送電部の変換効率を 60%に改善（令和 5 年度）

前回中間評価時の目標 40%に対し 44.8%を達成し、現在次の目標である 60%に向けて研究開発中。

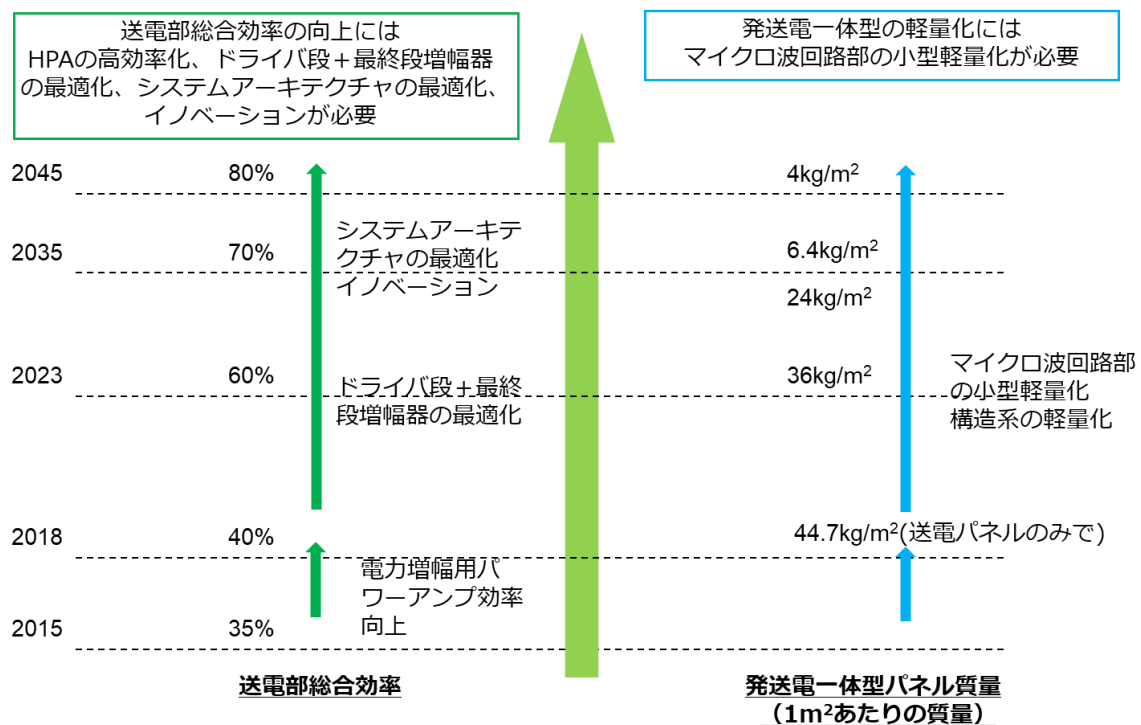
事業開始時（2014 年度）	計画：40%	実績：35%
前回中間評価時（2018 年度）	計画：40%	実績：44.8%
終了時評価時（2024 年度）	計画：60%	実績：—
目標最終年度（2025 年頃）	計画：80%	

② 発送電一体型パネルを 36kg/m²に改善（令和 5 年度）

これまでの研究開発では送電パネルのみで 44.7 kg/m²であったパネル質量を、発送電一体型パネル（太陽電池パネルと送電パネルを一体化したもの）で 36kg/m²に改善することを目標に研究開発中。

6. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

マイクロ波無線送電技術における送電部総合効率及び発送電一体型パネル質量に係るロードマップを以下に示す。送電部総合効率の向上には HPA の高効率化、ドライバ段と最終段増幅器の最適化、システムアーキテクチャの最適化、イノベーションが必要であり、発送電一体型の軽量化にはマイクロ波回路部の小型軽量化が必要である。



7. 費用対効果

宇宙太陽光発電システムについては、地上太陽光発電と異なり昼夜や天候に左右されることなく発電が可能であるとともに、発電時に温室効果ガスを排出しないという特長がある。

このため、宇宙太陽光発電システムの実現により、我が国として、エネルギーを計画的に確保することができるとともに、石油火力発電から代わることにより、CO₂ の発生を削減することが可能となる。

将来の実用 SSPS 稼働時の CO₂ 削減効果については、SSPS の発電単位当たりの CO₂ 排出量は 31.4g-CO₂/kWh（運用中の補修含む）（*1）であり、原子力発電や風力発電等の再生可能エネルギーとほぼ同等、LNG 火力（複合）[474g-CO₂/kWh]、LNG 火力（汽力）[599g-CO₂/kWh] や石油火力 [738g-CO₂/kWh]、石炭火力 [943g-CO₂/kWh] と比べてはるかに排出量は少ない。（*2）

*1：出典 「宇宙太陽光発電衛星のある地球と将来 宇宙産業と未来社会についての学際的研究」(慶應義塾大学出版会)

*2：出典 「日本における発電技術のライフサイクル CO2 排出量総合評価」(電力中央研究所報告)

本事業では、平成 26 年度からの 5 年間(計 12.5 億円)で、宇宙太陽光発電システムの実現に必要な受電部と送電部の総合効率改善に向けた研究開発等を実施し、受電部は目標を達成、送電部も達成、令和元年度年から令和 2 年度の 2 年間(計 5 億円)においても引き続き送電部の総合効率改善、宇宙実証に向けた発送電一体型パネルの開発、長距離送電の実証に係る研究開発を実施し、着実に実績を積み重ねている。

なお、本事業の成果である送受電系の高効率化、小型軽量化については、ワイヤレス IoT センサへの給電、インフラ点検・防災センサ等への給電といった活用が期待できるほか、マイクロ波無線送電に関する研究や事業化を進める関係者が一堂に会し、情報交換や交流を行うための研究会を事業の一環として開催し、宇宙太陽光発電システムの実現に必要な要素技術の地上産業における活用を促す取組も実施するなど、事業の波及効果拡大を進めている。

D 政府衛星データのオープンアンドフリー化・データ利活用促進事業

上位施策名	「未来投資戦略2018」(平成30年6月15日閣議決定) 「宇宙産業ビジョン2030」(平成29年5月29日宇宙政策委員会) 「宇宙基本計画」(令和2年6月30日閣議決定) 等						
担当課室	製造産業局宇宙産業室						
目的	<p>昨今、技術革新や新規参入企業の増加等を背景に、宇宙由来の様々なデータの質・量が抜本的に向上しつつあり、これら宇宙由来のデータと他の地上データが組み合わさったビッグデータにAI解析技術等を適用することで、多くの課題に対しソリューションを提供していくことが期待されている。衛星データは、地球規模での環境を捉える環境衛星データを中心に研究機関には多くのデータがオープン&フリー化されているものの、ビジネスで利用されている陸域観測衛星データの産業利用は限定的である。理由としては、①ユーザからのリクエストベースで有償によりデータの標準処理の上、提供している点、②データ量が膨大で、一般ユーザのコンピュータではハンドリングが困難な点、③解析にあたり高価なソフトウェアが必要な点、等といったことが挙げられる。</p> <p>そのため、政府衛星データ等のオープン&フリー化を進めるとともに、ユーザフレンドリーなデータプラットフォームを基盤インフラとして整備等することで、ビッグデータの1つとしての衛星データとその他のデータを組み合わせて利用するアプリケーション事業者の創出を促す。</p>						
類型	複数課題プログラム / 研究開発課題(プロジェクト) / 研究資金制度						
実施時期	2018年度~2021年度(4年間)	会計区分	一般会計 / エネルギー対策会計				
評価時期	終了時評価:2021年度						
実施形態	国 → 株式会社さくらインターネット(委託)						
プロジェクトリーダー	慶応大学大学院政策・メディア研究科 特別招聘教授 夏野 剛						
執行額(百万円)	2018年度	2019年度	2020年度			総執行額	総予算額
	1,198	1,149	1,039			3,386	3,400

1. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況

(1) 米国：米国地理空間情報局（NGA）

米国政府全体で使用可能な衛星画像を購入・提供。近年、ベンチャーの Planet lab 社、Blacksky 社の衛星データも購入しており、いわゆる「アンカーテナンシー」となっている。また、GAFAM（Google、Apple、Facebook、Amazon、Microsoft）においても、衛星データや地理空間データのプラットフォームを目指す動きが加速している。

米国同様に、欧州や中国はデータ主権の確立を目指し、地域・国家として衛星データプラットフォームの構築や拡張を強力に推進。衛星データのみならず様々な地理空間情報や社会経済情報等を集積している。

(2) 欧州：Destination Earth（欧州委員会）

気象予報、気候変動、水循環、生物地球科学など、様々なデータをクラウド上に集積し、地球上の自然環境や経済社会活動のモニタリング、シミュレーションなどが行える超高精度の地球のデジタルモデルの公開プラットフォーム。

2021 年以降、最初の 3 年間でプラットフォームを開発、7～10 年間で徐々に実装予定。ESA、欧州中期予報センター、欧州気象衛星開発機構などが開発に協力。

(3) 中国：CASEarth（中国科学院（CAS））

衛星データのほか、資源、環境、生物学、生態学等のデータを集めたプラットフォーム。2018 年から 5 年間のプロジェクトがスタート、2019 年開設。総資金は約 2 億 7,900 万米ドルで、世界の 130 機関から 1,200 人を超える科学者が参加する。本プラットフォームは「デジタル一帯一路」構想の一部であり、沿線諸国の地域資源分布、発展可能性等の分析を実施される予定。

2. 研究開発の内容

政府衛星データプラットフォーム Tellus は、平成 29 年「政府衛星データのオープン&フリー化及び利用環境整備に関する検討会」の最終報告書において、政府衛星のオープン&フリー化及び利用環境整備については、将来の民営化を前提に当初は政府予算にて開発・整備を行うよう提言されたことを受け、事業を開始した。政府事業期間（平成 30 年度～令和 2 年度）を通じて、衛星データを使いやすくユーザに提供するプラットフォーム構築を実施した。

なお、当プラットフォームの開発に当たり、潜在的ユーザ等を委員とするアドバイザリー委員会を設置した。この検討委員会には、平成 29 年「政府衛星データのオープン&フリー化及び利用環境整備に関する検討会」で座長を務めた慶応大学大学院政策・メディア研究科 特別招聘教授 夏野 剛氏に継続して座長を務めていただき、最終報告書に沿ったプラットフォームの開発を行った。アドバイザリー委員会は、平成 30 年度 3 回、平成 31 年度 2 回、令和 2 年度、令和 3 年度にそれぞれ 1 回開催した。

(1) 研究開発の全体構成

研究開発項目とその実施者を表1に示す。

表1 研究開発項目と実施者

研究開発項目	実施者
① Tellus ver1.0の開発	【さくらインターネット(株)】
② Tellus ver2.0の開発	【さくらインターネット(株)】
③ Tellus ver3.0の開発	【さくらインターネット(株)】

※事業期間が3年のため、中間目標は設定していない。

Tellus の概念図を下記の図1に示す。

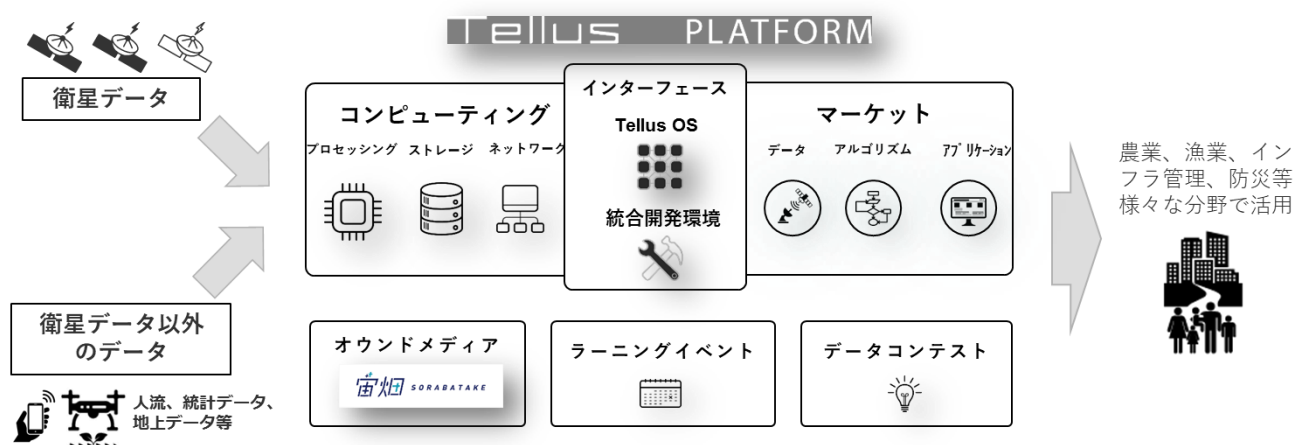


図1 Tellus の概念図

(2) 各研究開発項目の実施内容

① Tellus ver1.0 の開発

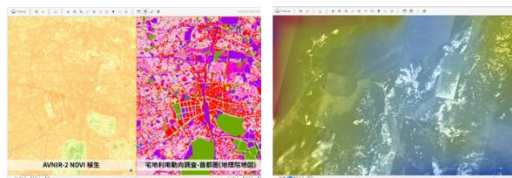
- Tellusは、衛星データと様々な地上データ（気象、人流等）を分析・解析するために、①ソフトウェア、②コンピューティングリソースを提供。
- 2月21日は、以下の機能のVer1.0を提供。来年度、各機能・ユーザビリティの拡充を進める。

<機能1>

衛星データと地上データの閲覧・重ね合わせ機能

Tellusに搭載された衛星データと地上データに加え、ユーザが保有する外部ファイルを取り込み、地図上に重ね合わせて表示するブラウザアプリケーション。データの傾向、相関等の簡易な可視化が可能。

（★想定ユーザ：ライトユーザー）



新宿駅周辺の植生（衛星画像）と宅地利業動向調査（地理院）の比較・閲覧

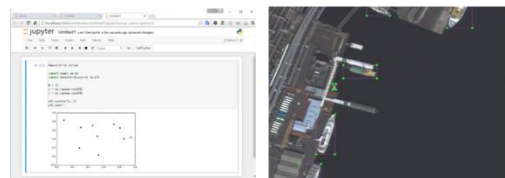
関東甲信越の日別降水量（Gsmap）と土地被覆（衛星）の重ね合わせ

<機能2>

重ね合わせたデータの分析・解析機能

機械学習に適したプログラミング言語での解析や、アプリ開発が可能な環境。重ね合わせたデータにユーザーが作成した解析アルゴリズムを適応可能。

（★想定ユーザ：データ解析事業者）



高分解能光学画像を用いた港湾部での船舶識別プログラム。機械学習で作成したアルゴリズムを光学画像に適用し、船舶を自動識別（右図：緑の点線部）

② Tellus ver2.0 の開発

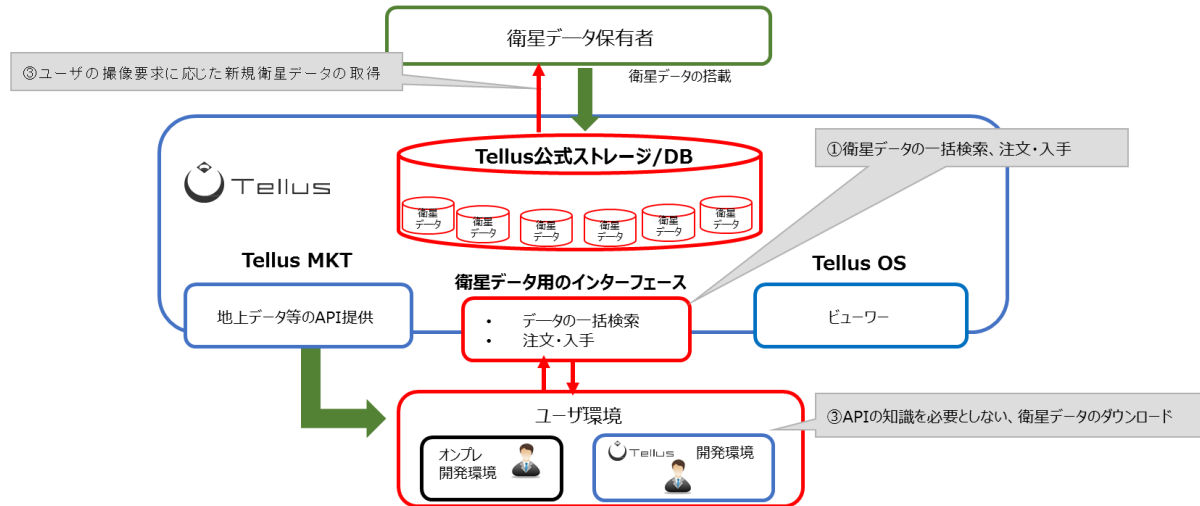
Tellus ver2.0 で下記の事項をリニューアル

Tellus WEB	<ul style="list-style-type: none"> ● デザインを全面的にリニューアル ● チュートリアル、FAQ などフォローコンテンツを拡充 などフォローコンテンツを拡充 ● 衛星データビジネスの紹介を拡充
Tellus OS	<ul style="list-style-type: none"> ● デザインを全面的にリニューアル ● 位置と時刻での絞り込み動線を強化 ● ベースマップとデータを分離 ● マーケットの商品連携（検索機能は来年）
Tellus マーケット	<ul style="list-style-type: none"> ● 新規オープンに向けてのシステム構築 ● プロバイダの商品登録、カスタマー購入機能

③Tellus ver3.0 の開発

● 2021年10月にリリースしたTellus3.0で、以下を含む機能の利用が可能になった。

- ① 衛星名や時間・場所で、Tellusに搭載された全衛星データの一括検索及び検索結果のデータ購入
- ② APIの知識を必要としない、衛星データのダウンロード
- ③ 商業衛星プロバイダーと協力した、ユーザの撮像要請に応じた新規衛星データ取得



3. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) 研究開発計画

本プラットフォーム開発にあたっては、前述通り、潜在的ユーザ等を委員とするアドバイザー委員会を設置した。その他、セキュリティ上の問題有無、顧客との契約書などの法律面、その他リリースにかかる全般的な意見聴取を行う「Tellus 審査会」や Tellus の開発への貢献と利用促進を目的として創設された「xDataAlliance」から意見を聴取して事業を実施した。

委員会	メンバー	役割
アドバイザー委員会	夏野委員長を筆頭に潜在的ユーザ等7名が委員として任命。関係省庁はオブザーバーとして参加。	衛生データ整備、プラットフォーム開発仕様、プラットフォームの利用促進、他のデータプラットフォーム等との連携に関する助言聴取
Tellus 審査会	官民6名の委員で構成。	セキュリティ上の問題有無、顧客との契約書などの法律面、その他 Tellus Ver2.0 リリース以降、全般的な意見聴取の場として、審査会を実施。
xDataAlliance	さくらインターネット、AXELSPACE、G 空間情報センター、みずほ情報総研、シャープ、pwc、DeNA 等（計 34 社）	Tellus の開発への貢献と利用促進を目的として創設。宇宙産業関連企業を含めた事業者・研究機関・団体が構成。

事業全体のスケジュールを下記のとおり図2で示す。

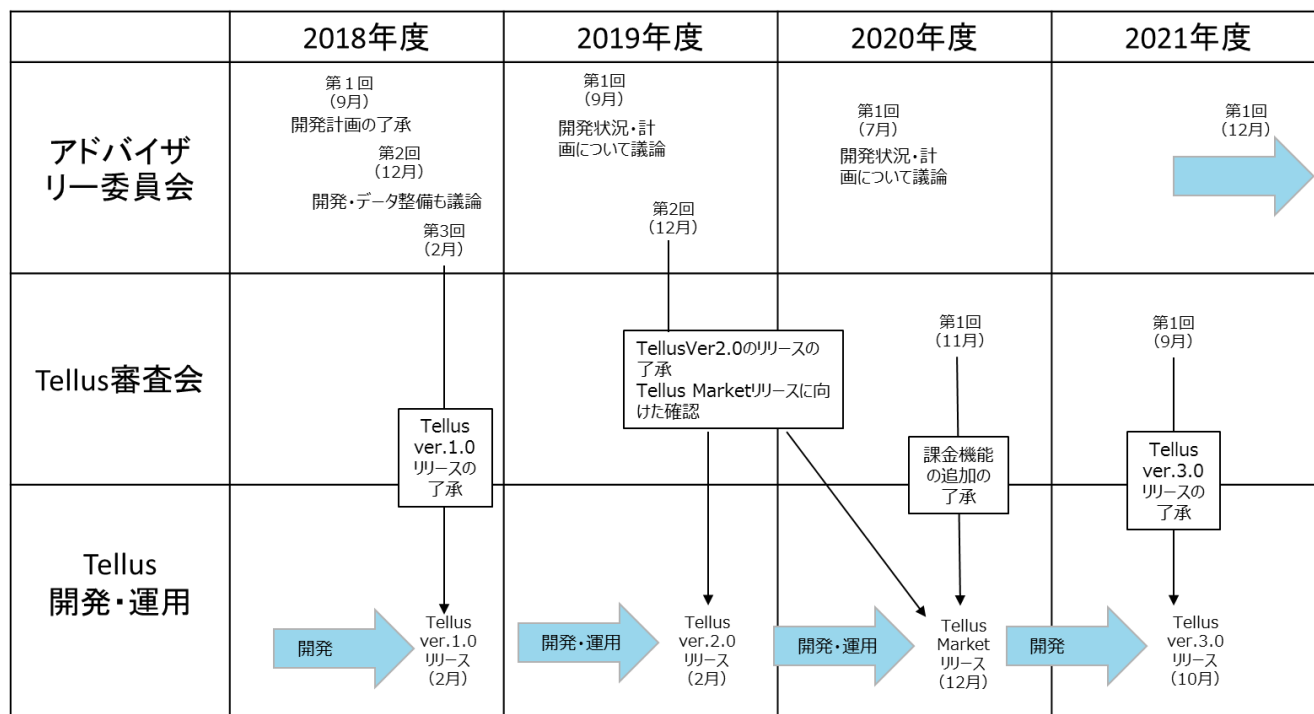


図2 事業全体スケジュール

(2) 資金配分

2018 年度から 2020 年度までの資金配分を表 2 に示す。全体スケジュールに基づき、事業計画の各項目に配分し、各々の進捗に従い、事業を適切に推進した。

表 2 2018 年度から 2020 年度までの資金配分

年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度
予算 (百万円)	1,198	1,149	1,039

(3) 研究開発の実施・マネジメント体制

Tellus の開発 (2018 年度～2021 年度) の体制図を図 3 に示す。

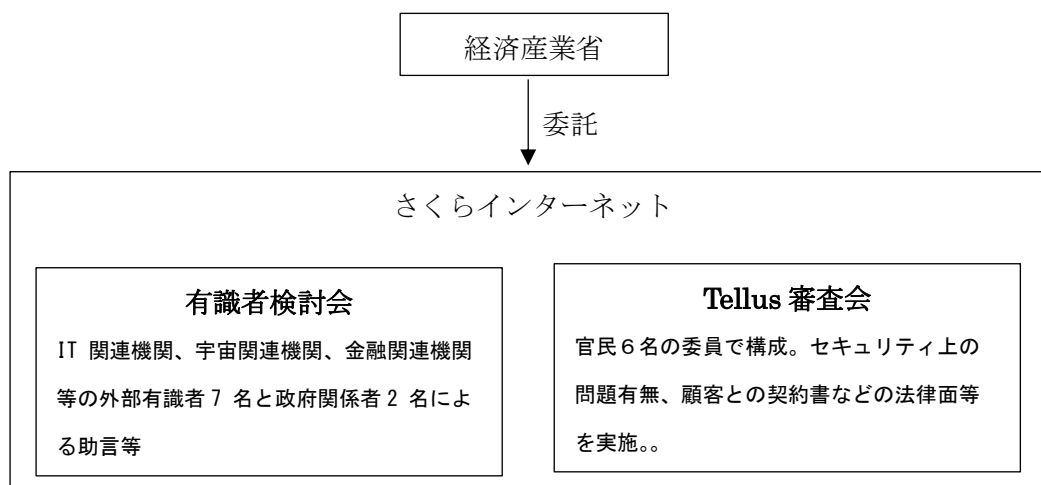


図 3 実施体制

委託事業者であるさくらインターネット株式会社は、データセンター事業およびインターネットサービス事業を受託する事業者で、容量の大きい衛星データを扱うデータセンターのノウハウを有し、インターネットサービス事業も行っており、本事業を実施するのに適格な事業者である。

プラットフォーム開発の実施にあたっては、本事業の実施を決定した「政府衛星データのオープン&フリー化及び利用環境整備に関する検討会」でプロジェクトリーダーを務めていた慶応大学大学院政策・メディア研究科 特別招聘教授 夏野 剛の下で効果的な開発を実施した。

委員会	メンバー	役割
アドバイザー 一委員会	夏野委員長を筆頭に潜在的ユーザ 等7名が委員として任命。関係省 庁はオブザーバーとして参加。	衛生データ整備、プラットフォーム開発 仕様、プラットフォームの利用促進、他 のデータプラットフォーム等との連携に 関する助言聴取
Tellus 審査会	官民6名の委員で構成。	セキュリティ上の問題有無、顧客との契 約書などの法律面等、Tellus Ver2.0 リ リース以降、全般的な意見聴取の場と して、審査会を実施。

(4) 知財や研究開発データの取扱い

本事業では、衛星データをオープン&フリーで提供を行う必要があるため、衛星データプロバイダーのデータポリシーに鑑み、経済産業省、さくらインターネット間で連携のうえ、衛星データ、地上データ等を提供した。

4. 事業アウトプット

(1) 研究開発目標

研究開発項目	最終目標(2020年)	設定(変更)理由
政府衛星データプラットフォーム Tellus の開発	Tellus ver3.0 の開発・公開	プロトタイプを開発しながら事業の実証を行うため。

※事業期間が3年のため、中間目標は設定していない。

(2) 研究開発の成果

研究開発項目	最終目標(2020年度)	成果・意義	達成状況	未達の原因分析/今後の見通し
政府衛星データプラットフォーム Tellus の開発	Tellus ver3.0 の開発・公開	Tellus ver.3.0 をリリースし、2021年12月末時点で、国内外24,000を越えるユーザが利用している。	達成	-

(3) 活動指標

年度	論文数	国内特許出願	国外特許出願	PCT 出願
2018年	0件	0件	0件	0件
2019年	0件	0件	0件	0件
2020年	0件	0件	0件	0件

国際標準への寄与
-

プロトタイプの作成
2019年2月: Tellus ver.1.0 リリース 2020年2月: Tellus ver.2.0 リリース 2021年10月: Tellus ver.3.0 リリース(最終版)

5. 事業アウトカム

(1) 事業アウトカムの内容

2030年代初期までに宇宙産業の市場規模を2.4兆円まで拡大する見込みの中、宇宙利用産業は約7割の1.6兆円規模と想定される。このうち、2030年代初期までに宇宙利用産業の市場規模に約3400億円（約20%程度）貢献されることが期待される。本事業では、政府衛星データプラットフォームTellusの開発等を実施した。の5チームが採択され、実証事業を実施した。

今後、Tellus利用した衛星データの売買、Tellus上でのソリューション開発が行われTellus上でのビジネスが創出・促進されることが期待される。

(2) 事業アウトカム目標

アウトカム目標		目標の設定理由	目標達成の見込み
2030年代初期	宇宙産業の市場規模を2.4兆円まで拡大する見込みの中、宇宙利用産業は約7割の1.6兆円規模と想定。このうち、2030年代初期までに宇宙利用産業の市場規模に約3400億円（約20%程度）貢献。	「宇宙産業ビジョン2030」（2017年5月29日宇宙政策委員会）及び平成29年度製造基盤技術実態等調査事業（ビッグデータにおける衛星データのあり方に関する調査）を元に設定。	達成の見込み。

6. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

2021年度をもって政府衛星データプラットフォームTellusの開発は終了することとなる。既に、Tellusは、民間活力を利用した運営形態をとっており、これが民間事業として自立できるかが今後の衛星データ利用拡大の重要なポイントである。

令和4年度以降は、民間事業として自立化しつつ、衛星データの安定的かつ恒久的な提供を可能とする必要がある。宇宙基本計画に基づき、当面は公費ゼロにこだわらず、政府からも一定の支援を行うことで、官民連携で自立化及びより優れたプラットフォームとなることを目指す。

具体的には、プラットフォームの運営は民間に委ねることを基本とし、政府は、政府衛星データオープン&フリー化、国際連携及び衛星データ利用実証事業等に予算措置を行うことで、衛星データの利活用促進に取り組む。

7. 費用対効果

当該プラットフォームの利用促進の観点から、単位あたりのコストを①執行額／プラットフォームへのユーザ登録件数、②執行額／プラットフォームへのユーザアクセス件数で設定。いずれも目標値を達成。

中国で開発されているCASEarth（中国科学院（CAS））の総資金は約2億7,900万米ドル（≒300億円）と比較すると、その1／10程度の費用で効率的に開発が行われた。今後、来るTellusの民間移管に向けて、効率的な開発が望まれる。

1. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況

諸外国でもすでに先行して様々なアプリケーションビジネスが進められており、これを加速するため、例えば欧州では、政府衛星ガリレオ及びセンチネルのサービスを活用したユースケース開発支援が行われているなど、世界全体で宇宙利用産業の強化に向けた競争が進められている。

特に近年では、衛星データやそれ以外のデータを一つのPF上で様々な解析ツール等を用いながらアプリケーションを創出する動きが進んでおり、我が国としてもこうしたPF活用型アプリケーション創出の観点が重要となっていた。

2. 研究開発の内容

(1) 研究開発の全体構成

事業実施にあたっては、検討会を設置し、本事業に関する重要事項の検討を行った。検討会は、IT関連機関、宇宙関連機関、金融関連機関等の外部有識者7名と政府関係者2名の計9名で構成した。検討会で検討した主な重要事項は以下のとおり。検討会は、受託契約締結直後の初会合（下記A）、再委託事業者の選定（下記B）、年度半ば（下記C等）、年度末（下記D）の計4回開催した。

- A) 実証分野・実証テーマや選定基準等、再委託事業者への公募要領の確認
- B) 再委託事業者による提案内容の審査及び選定
- C) 再委託事業の進捗状況の把握等の中間報告・評価
- D) 再委託事業の最終報告・評価

研究開発項目	実施者
①衛星による船舶等の貨物量推定をもとにした経済指標提供サービス	アジア航測株式会社
②衛星・地上データによるバイオマス資源の地産地消で儲かる林業	宇部興産コンサルタント株式会社
③自然放牧による畜産農業への衛星データ利用実証事業	M・S・K株式会社
④電カインフラの遠隔監視・調査への衛星データ適用実証事業	関西電力株式会社
⑤豪州における準天頂衛星システムを活用した自動運転実証	豊田通商株式会社

(2) 各研究開発項目の実施内容

①衛星による船舶等の貨物量推定をもとにした経済指標提供サービス

実証事業名	衛星による船舶等の貨物量推定をもとにした経済指標提供サービス
実証チーム構成 組織・団体名	代表企業 アジア航測株式会社 株式会社アイ・トランスポート・ラボ、株式会社グローバル・パートナーズ・テクノロジー、同志社大学、株式会社アクセルスペース
実証事業概要 (200文字程度)	企業や投資家にとって、グローバルな経済状況等の把握は収益向上に重要であるが、統計データ等の公表までに時間がかかりまた信頼性が低い国があることが課題である。衛星AISデータから海上貨物量を広域で一定の精度で推定できることがわかっているため、世界の国際物流の9割を占める海上輸送に着目し、衛星AISデータ、衛星画像等により海上貨物量等を推定し、早期に、精度の高い経済指標を提供する事業化について実証を行った。

実証事業成果

アプリケーション概要（使用データを含む）	実証方法・規模等
<p>【使用データ】 衛星画像: Planet社 PlanetScope AISデータ: IHS Markit (AIS Historical Position Data, AIS Historical Port Calling Data)</p>	<p>【対象貨物】鉄鉱石 【対象地域】オーストラリア・中国 輸出港: Port Headland港・Dampier港 輸入港: チンタオ港</p> <p>【実証方法】 ①AISと衛星画像による海上貨物量等を推定するプロトタイプ構築: AIS、衛星画像の双方で、日次の出港船舶数を抽出し公表データと比較評価。ストックヤードのバルク面積を衛星画像により解析。 ②海上輸送の航路・目的地予測モデルの構築: 衛星AISを基に各船舶の行先、航路等を予想する統計データを作成し、目的地別航路確率を抽出。 ③AISと衛星画像による経済動向を判断する手法のプロトタイプ構築: 衛星データ等により、日々出港船舶数等を推定できることを前提として、公表された統計データを元に、どの程度早期に輸出货量等を把握できるかを検証。 ④事業化に向けた検討: 企業ヒアリングの実施、事業モデルの検討、事業性の評価を実施。</p>

ビジネス化に向けた課題と今後の展望	まとめ
<ul style="list-style-type: none"> ・AISデータにより、鉄鉱石の輸出货量(船舶数)を精度よく推定できることはわかったが、データ入力を各船舶に依存していることから、データの精度に課題。またAISデータだけを使用する場合は、他社との差別化が課題。 ・衛星画像については、ストックヤードのバルク量を把握できる利点があるものの、抽出精度の向上に課題がある。船舶数の把握には、天候等による解析可能なデータの欠損等が生じるため、AISデータと比較しても精度が劣る。いずれの場合も精度向上が課題。 ・コストを考えると、衛星画像のみでのサービス提供が理想。衛星画像については、今後データ購入ではなく、利用料によるサービスが期待できることから、コスト低減に期待。 	<ul style="list-style-type: none"> ・船舶数の推定について、AISデータにより公表データを類似の推定が可能であることを確認。衛星画像ではデータ欠損等により低精度であるが、ストックヤードのバルク量推定の可能性を確認。 ・衛星画像のみでは船舶の行先の把握は困難だが、航路予測により船舶の場所が特定できれば、一定確率で行先の推定が可能であることを確認。 ・衛星画像やAISデータで日次での海上貨物量の推定ができれば、現在の公表時期(翌月の10日前後)に比べて20日~30日程度早く推定できる可能性を確認。 ・事業化に向け、当面はAISデータと衛星画像の技術的特性を踏まえて両方を活用し検討。将来的には、採算性を考慮し、衛星画像のみでの事業化を目指す。

②衛星・地上データによるバイオマス資源の地産地消で儲かる林業

実証事業名	衛星・地上データによるバイオマス資源の地産地消で儲かる林業
実証チーム構成 組織・団体名	【サービス提供事業者】 宇部興産コンサルタント株式会社(代表)、株式会社ニュージャパンナレッジ、株式会社常盤商会 【支援機関】 山口県産業技術センター、山口県農林総合技術センター、山口大学応用衛星リモートセンシング研究センター、宇宙システム開発利用推進機構(JSS) 【サービス利用ユーザ】 (自治体)山口県宇部市、美祢市 (林業事業者)カルスト森林組合、三輝トラスト株式会社
実証事業概要 (200文字程度)	衛星データと地上データを活用した森林資源情報システムを構築し、林業事業者へのコンサルティングを実施する新しいビジネスモデルを実証する。地元のバイオマス資源を地元のバイオマス発電所へ供給する地産地消を実現し、儲かる林業をサポートする。

実証事業成果

アプリケーション概要 (使用データを含む)	実証方法・規模等
<p>森林資源情報システム</p> <p>衛星データ (Sentinel-2, WorldView-2) → 解析 → 融合 → 地上データ (山口県提供(林班、小班等)) → ①衛星データ・地上データ融合システム → GISシステム(クラウド) → 林業事業者</p> <p>林業事業者: 事務所 (作業日報, 伐採計画) → ③伐採・道開・運搬計画策定支援システム; 現地 (土地境界, 作業日報) → ②現地調査支援システム</p>	<p>衛星データ解析 (地上データとの比較による評価) (対象)山口県宇部市・美祢市 計760 kdl</p> <p>森林資源情報システム (ユーザビリティ評価)</p> <p>森林・竹林現地での実証、ユーザ評価</p>

ビジネス化に向けた課題と今後の展望	まとめ
<p>1) 衛星データのハイスペック化・省コスト化 無償の衛星データから求められる情報精度を向上させ、面積だけでなく樹種が判定できる高解像度データ提供を望む。将来は材積が取得できるレベルを希望</p> <p>2) 衛星データプラットフォーム拡充 衛星データは解析後に使えるデータにするまでコストがかかる。竹林・人工林の解析結果、教師データの共有化が行える衛星データプラットフォームを望む</p> <p>3) 地上データの公開(オープンデータ化) 事業化には、林班、小班、地籍など、自治体が保有する地上データの活用が必須であり、オープンデータ化を切望(現状、北海道など一部自治体の公開のみ)</p>	<p>まとめ</p> <p>【森林コンサルティングサービス実施】</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 森林・竹林分布情報提供 (GIS:衛星、地上データ) ② 森林・竹林材積情報提供 (地上レーザ、ドローン) ③ 伐採・道開・運搬計画支援サービス <p>森林資源情報 → 森林資源情報システム → 森林資源情報 → 森林環境課(自治体) → 森林環境課管理費</p> <p>バイオマス発電所 ← バイオマス資源供給 ← 林業事業者 ← バイオマス資源の安定供給 ← 地元の森林・竹林</p>

③自然放牧による畜産農業への衛星データ利用実証事業

実証事業名	「自然放牧による畜産農業への衛星データ利用実証事業」
実証チーム構成 組織・団体名	M・S・K株式会社
実証事業概要 (200文字程度)	自然放牧されている牛は酪農家にとって大事な資産であります。放牧中に牛がいなくなる事故もたびたびありその捜索に人手と時間を要しているのが現状です。また自然放牧で生まれた子牛は母親の側にいないと死亡することもあるようです。子牛いつも母親の側にいるかを管理するのは非常に重要な仕事です。放牧頭数が増えるにつれて個体管理がますます大変になっている中で測位衛星による牛の行動(位置や移動方向・速度等)の把握と地球観測衛星による牧草の生育状況(草種や草量の分布等)の把握によって自然放牧の課題を解決し、畜産・酪農経営における自然放牧の事業化の可能性について検証を行うことを目的とする。

実証事業成果

アプリケーション概要 (使用データを含む)	実証方法・規模等
<p>牛の行動をモニタリングするため、新規に開発したGPS付きのセンサを牛に取り付け、位置、移動速度、移動距離などを記録しサーバーに保存を行うことが出来た。</p> <p>記録間隔は1分で設定、連続取得で2日間電池交換不要のデータも得ることができ今後市販においても200日間連続使用が可能と判断の根拠を得ることが出来た。</p> <p>牧草の生育状況をモニタリングするため、無償で入手可能な地球観測衛星のSentinel-2の使用し、各種植生指標(NDSI等)や画像分類を行って良質な牧草の有無や量などを推定する。地球観測衛星による解析結果を検証するため、牧場内に調査区画を設けて地上調査を行い、草種やその被度、バイオマスなどの測定を行う。</p>	<p>実証方法としては根室の伊藤畜産において実際に放牧中の牛にGPS端末を付けてテストを行った。GPS端末は3台を装着。</p> <p>また伊藤畜産の放牧面積は比較的小さかったため近隣の上田牧場にてGPS端末を4台牛に付けより広い面積でテストを行った。</p> <p>草地管理につきましては地球観測衛星のSentinel-2の使用し、各種植生指標使用し牧草の生育状況のデータから、自然放牧で牛の餌となる牧草の更新時期、施肥を行う場所や量、タイミングなどの情報が得られる。また、牛の行動パターンと組み合わせることで、糞尿による牧草生育への影響や、良質な採食場所への牛の誘導など、高度な自然放牧が可能になる。</p>

ビジネス化に向けた課題と今後の展望	まとめ
<p>今回の実証事業をもとに4月以降子牛のセリのシステムを販売している機器メーカーと販売店契約を結び、販売を行う予定である。また、昨年営業を行っていた各酪農家や農協に販売を行う予定である。具体的には、秋田酪農農業組合、遠別町酪農振興公社、中茶別酪農協同組合、他鹿児島、熊本の酪農協同組合を想定している。</p> <p>既に熊本の酪農家から阿蘇山の野焼き後に試験的に10セット導入し問題なければ500頭分を購入の意向。北海道の留萌管内の農協からも導入に向け町長から見積もり依頼を受ける。</p> <p>ただGPSで管理する延長線上に牛の繁殖予測、草地管理に於いてそのニーズの高さも考慮し追加のシステム開発も必要を考えております。</p> <p>またGPS端末の量産に向けての製造委託会社。端末を安くするためにある程度まとまった数量を発注しなければいけないので在庫等を含めて資金確保を解決する必要がある。</p>	<p>牛の個体管理において、繁殖時期の予測、分娩予測、草地管理等への衛星データの利用範囲は大きい。また、農家における草地管理は、従来牧草の生育の状態を見て数種類ある牧草を定期的に作付けし、牧区を転換して土地の改良を行ってきた。牛が好んで食べる牧草と農家が考えているもので異なることから、日本だけでなく世界的にも草地管理に衛星を導入することの意義とその将来性は大きい。放牧している牛の軌跡と、その軌跡において牛が実際に牧草を食べているか調べることは、今後の生産性向上に役立つことは理解されており、具体的に証明されることが期待されている。</p> <p>その解決方法として、位置情報を基本とした測位衛星と地球観測衛星の組み合わせにより証明が可能となる。また、得られたデータを販売することで、新しい市場を作ることが可能と考えられる。農業に特化したデータセンターを構築することで、より一層の成果が見込められると考えられる。</p>

④電力インフラの遠隔監視・調査への衛星データ適用実証事業

実証事業名	電力インフラの遠隔監視・調査への衛星データ適用実証事業
実証チーム構成 組織・団体名	関西電力株式会社 株式会社バスコ
実証事業概要 (200文字程度)	電力インフラの“保守業務”や“建設時の各種調査”には多大なコストと時間を要している。そこで、オープン＆フリーで活用しやすくなった、衛星データとドローン等を組み合わせたリモートセンシングによる監視・調査を導入し、全産業の土台となる安価で安定した電力の供給を実現する。 また、本事業を通じて開発・導入した技術の展開により、海外でのインフラ建設事業の競争力強化や宇宙産業の活性化への寄与も期待できる。

実証事業成果

アプリケーション概要（使用データを含む）	実証方法・規模等
<p>(1) 鉄塔周辺の地盤監視 鉄塔の周辺等、限定された範囲において2時期のレーダー衛星データを干渉させ地盤変動の情報を提供するもので、長期的な地盤変動の監視、現地センサー設置位置の選定に用いる。</p> <p>(2) 市街地における建造物等の変化発見 監視対象範囲内での建造物等の変化をAIにより抽出するもので、送電線線下の監視に用いる。</p> <p>(3) 送電線の建設ルート検討での活用 衛星データの利点を活かし、送電線の建設ルートの検討等の業務を実施する際に必要となる当該地の地形等の最新データを安価かつ、迅速に提供する。</p>	<p>(1) 鉄塔周辺地盤監視への適用 関西電力管内の過去に地盤変動が発生した5箇所について、レーダー衛星のデータ解析により地盤変動を検出可能であるかを検証した。検証においては、現地調査を実施し、衛星データの判読結果との比較を行った。また地上レーザー測量データと組み合わせることで精度向上が可能か検証した。</p> <p>(2) 市街地における建造物等の変化発見への適用 30,763棟の建物のポリゴンデータを作成し、変化抽出のAIのための教師データを作成した。関西電力で管理している送電線付近の巡視データを正解データとして変化抽出AIの正解率を評価した。</p> <p>(3) 送電線の建設ルート検討での活用 現地測量を実施した東南アジアで、現地測量結果と衛星データから作成した標高データを比較し精度検証を行った。</p>

ビジネス化に向けた課題と今後の展望	まとめ
<p>(1) 鉄塔周辺の地盤監視 干渉縞がノイズに紛れてしまうこと、ノイズとの区別に経験を積んだ人の判断が必要となることが課題であり、また地盤変動を迅速に把握するためにも変動の抽出を機械化することが望ましい。さらに今後正解データを作成した上で解析限界の検証を行うことが必要である。</p> <p>(2) 市街地における建造物等の変化発見 建物の新設と撤去は高精度で抽出できるが、形状の変化を抽出することができない。高頻度で画像を入手できない。高頻度低画質のデータの採用等についても検討する必要がある。</p> <p>(3) 送電線の建設ルート検討への活用 DSMからDEMを作成する際の誤差や雨季等の気候におけるデータ取得が課題となる。コスト面とデータ作成期間を評価すると、送電線建設の採算性調査業務において適用が期待できる。</p>	<p>衛星データを活用した3つのソリューションについて、データの品質面、コスト面、入手頻度(期間)から業務への適用可能性を検討した。</p> <p>品質面ではまだ現状業務を置き換える手段とはなりえないが、オープン＆フリー化によって低コスト化が進めば現状の業務に付加して適用することで、さらなる安定供給の実現や、従来業務の省力化が期待できる。</p> <p>品質面を向上させるためには、データに含まれるノイズの低減や、機械的なフィルターへ経験豊富な人の判断を反映する等のAI開発を含めた手法の研究開発が必要である。</p> <p>今後も引き続き電力インフラへの活用を進めるために取組を続けていく。</p>

⑤豪州における準天頂衛星システムを活用した自動運転実証

実証事業名	豪州における準天頂衛星システムを活用した自動運転実証
実証チーム構成 組織・団体名	豊田通商株式会社、株式会社日本総合研究所、三菱電機株式会社、ダイナミックマップ基盤株式会社、グローバル測位サービス株式会社、マゼランシステムズジャパン株式会社、慶應義塾大学SFC研究所大前研究室、TT Logistics (Australasia) Pty. Ltd. TOYOTA TSUSHO NEXTY ELECTRONICS (THAILAND) CO. LTD.
実証事業概要 (200文字程度)	本事業は、我が国のインフラである「準天頂衛星システム」、(国)宇宙航空研究開発機構(JAXA)が開発した高精度測位補正技術「MADCOCA」、株式会社INCJならびに日系自動車メーカ10社が出資するダイナミックマップ基盤(株)が整備を行う「高精度3D地図」などをAll-Japan体制にて活用することで、準天頂衛星システムの軌道エリアに含まれるアジア・オセアニア地域が抱える課題を現地企業と協力して解決を目指すものである。

実証事業成果

アプリケーション概要 (使用データを含む)	実証方法・規模等
<p>本実証事業で活用する自動運転車は搭載されたマルチGNSS受信機によってGNSS測位信号及びMADCOCA補強信号を基に算出された高精度位置情報と高精度地図データに含まれる位置情報を照合することで自車位置認識を行いながら自動運転を行う。自動運転車の走行中の車両データや高精度測位技術を活用した位置情報等の衛星データは、インターネット網を通して自動運転車から統合管制システムへ送信され、統合管制システムによってデータ収集・解析・蓄積される。</p>	<p>豪州におけるMADCOCA-PPP測位を活用した高精度測位技術の自動運転システムの自己位置認識への適応可能性を把握するために、豪州メルボルンにおいて走行試験を実施した。</p> <p>本実証事業で活用する主要技術である高精度測位技術、自動運転システム、統合管制システムについて走行試験で取得したデータをもとに性能評価を行った。</p> <p>走行試験の結果、実用化に向けては高精度位置情報の収束時間短縮及び補正情報の安定性向上などの課題が明らかとなったものの、自車位置特定技術として活用されるLiDAR等によるスキャンマッチングが困難とされる、特徴的な地物が少ないような場所においても、高精度測位技術は自車位置特定を維持することが可能であり、自車位置特定技術への適応が期待されることが確認された。</p>

ビジネス化に向けた課題と今後の展望	まとめ
<p>将来的なビジネス化に向けて、本実証事業で活用した技術の課題は以下の通りとなる。自動運転にあたっては初期化に要する収束時間の短縮のために、ローカル補正情報の活用が必要となる。また、補強信号の活用には、配信する衛星の仰角を把握し、取得が困難となる場合には取得対象衛星の切り替える機構が必要になる。衛星信号使用不可の状況下での自車位置推定を行うために複数センサの活用が必要となる。</p> <p>本実証事業に関連する技術・サービスが豪州における物流分野に適用された場合、これら技術・サービスの売上げのうち占める日本のシェアが、本実証事業で実証した技術が事業化した際に我が国経済に裨益する効果となるものと考えられる。裨益効果を包含する豪州における自動運転トラックに係る市場規模は2035年で最大1,771億円と推定される。</p>	<p>本実証事業では、自動運転システムのうち、自車位置特定技術への準天頂衛星システムを活用した高精度測位技術の適応可能性を検討し、準天頂衛星システムを活用した自車位置特定技術の性能を評価するために豪州にて実証実験を行った。</p> <p>実用化に向けては収束時間の短縮及び補正情報の安定性向上などの課題が明らかとなったものの、LiDAR等によるスキャンマッチングが困難とされる、特徴的な地物が少ないような場所においても、高精度測位技術は自車位置特定を維持することが可能であり、本実証事業にて提案した準天頂衛星システムを活用した自動運転は、豪州の物流分野の抱える課題の解決及び日豪両国の更なる経済発展に寄与することができる有益なプロジェクトであるといえる。</p>

3. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) 研究開発計画

本事業実施にあたっては、図1にプロジェクト全体のスケジュールを示す。

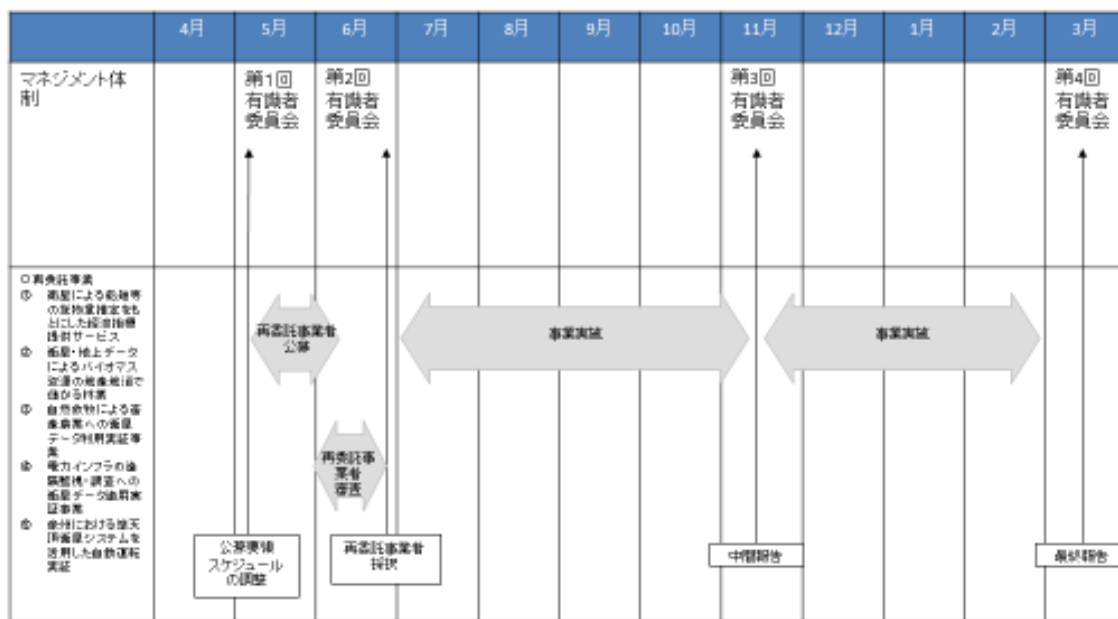


図1 プロジェクト全体のスケジュール

(2) 資金配分

本事業実施の資金配分は、表1に示す。予算額を鑑み経済産業省から指定した総額1.4億円程度のうち、800万程度を1件程度、150万程度を4件程度採択するよう公募を行い、有識者委員会の決定従って下記のように、各項目に配分を行った。

表1 事業実施の資金配分

実証事業名	代表企業	再委託実績費用 (百万円)
①衛星による船舶等の貨物量推定をもとにした経済指標提供サービス	アジア航測株式会社	15
②衛星・地上データによるバイオマス資源の地産地消で儲かる林業	宇部興産コンサルタント株式会社	15
③自然放牧による畜産農業への衛星データ利用実証事業	M・S・K 株式会社	13
④電力インフラの遠隔監視・調査への衛星データ適用実証事業	関西電力株式会社	12
⑤豪州における準天頂衛星システムを活用した自動運転実証	豊田通商株式会社	80
	合計	135

(3) 研究開発の実施・マネジメント体制

一般財団法人日本宇宙フォーラム（以下、「JSF」という。）は、財団として多くの宇宙関連の企業、大学、団体等を取りまとめられる高度な「中立性」を有し、事業の事務局として中立な立場で公募、選定支援、検討会の開催支援、再委託、指導、助言、進捗管理を行うことができる。また、JSFは採択時まで、多くの測位衛星や地球観測衛星関連事業の支援を行ってきた。これらの分野でプロダクトやサービスを利益事業として提供する財団ではない。そのため、実施に当たって、成果を最大限に適材適所で企業、大学、団体等と連携し、とりまとめながら事業を実施することができる実施先であった。

また、実施体制については、経済産業省からJSFに委託し、再委託公募、有識者検討会の実施・運営、及び再委託事業者に対して指導・助言・進捗管理を実施した。実施体制については、下記の図2に示す。

なお、本事業は、2018年度で終了し、オープン&フリー事業に移行することとなった。

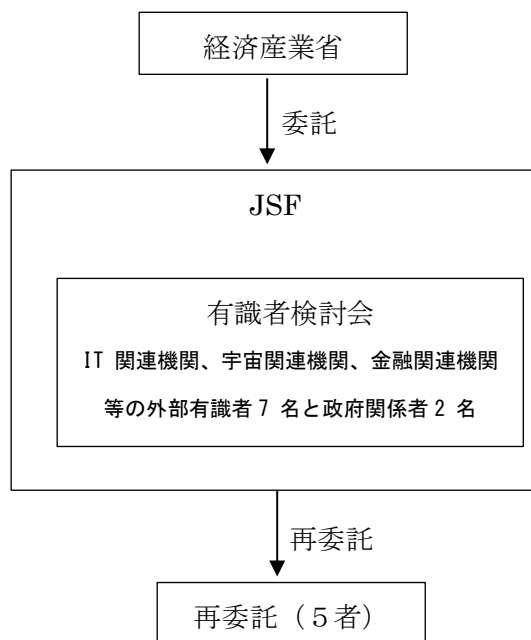


図2 実施体制

(4) 知財や研究開発データの取扱い

本事業において、知財・研究開発データの懸念無し。

4. 事業アウトプット

(1) 研究開発目標

研究開発項目	最終目標(2018年)	設定(変更)理由
①衛星による船舶等の貨物量推定をもとにした経済指標提供サービス	公表データと比較した場合に、80%以上の精度で船舶数、積載量の抽出ができること、もしくは、公表データの数値に対して、80%以上の精度で船舶数、積載量を推計するための手法開発	衛星 AIS データ、衛星画像等により海上貨物量等を推定し、早期に、精度の高い経済指標を提供する事業化について実証のため設定。
	バックヤード積荷堆積量について、経済指標としての利用の可能性の提示	
	目的地予測のための手法を開発できること、またその精度向上のための手法を提示	
②衛星・地上データによるバイオマス資源の地産地消で儲かる林業	衛星データ /地上データ融合システム開発	衛星データと地上データを活用した森林資源情報システムを構築に向けて、設定。
	現地調査支援システム開発	
③自然放牧による畜産農業への衛星データ利用実証事業	地球観測衛星から、牧草の草丈や乾燥重量、牧草と雑草の被度の推定	牛の行動把握と地球観測衛星による牧草の生育状況の把握によって自然放牧の課題解決に向けて設定。
	牛の位置情報が正しく取得できることを確認	
④電力インフラの遠隔監視・調査への衛星データ適用実証事業	送電線周辺の地物の変化確認(特定巡視)	電力インフラの保守業務や建設時の各種調査の効率化にむけた、衛星データとドローン等を組み合わせた監視・調査の導入に向け設定。
⑤豪州における準天頂衛星システムを活用した自動運転実証	走行中の位置精度	「高精度 3D 地図」などを活用した準天頂衛星システムの軌道エリアにおける実証のため設定。
	自動運転車が逸脱した時に管制システムで検知・アラート	

(2) 研究開発の成果

本事業をとおして、5件のアプリケーション開発を達成した。当初の目標に対し、おおかた実証を実施することができた。以下に評価軸と達成状況をまとめたものを示す。

研究開発項目	最終目標 (2018 年度)	成果・意義	達成状況	未達の原因分析/ 今後の見通し
①衛星による船舶等の貨物量推定をもとにした経済指標提供サービス	公表データと比較した場合に、80%以上の精度で船舶数、積載量の抽出ができること、もしくは、公表データの数値に対して、80%以上の精度で船舶数、積載量を推計するための手法開発	AIS では特定条件で達成。	一部達成	衛星画像では精度未達。精度に課題はあるが、手法については今後の課題。
	バックヤード積荷堆積量について、経済指標としての利用の可能性の提示	特定条件では可能。取得精度に課題	達成	-
	目的地予測のための手法を開発できること、またその精度向上のための手法を提示	一定確率で予測する手法を開発	達成	-
②衛星・地上データによるバイオマス資源の地産地消で儲かる林業	衛星データ /地上データ融合システム開発	Sentinel のデータで、自動処理し、(70%程度)の精度達成	達成	-
	現地調査支援システム開発	開発達成	達成	-
③自然放牧による畜産農業への衛星データ利用実証事業	地球観測衛星から、牧草の草丈や乾燥重量、牧草と雑草の被度の推定	2回の現地調査で複数のサンプルで比較(3グループの被度推定の全体精度は87%)	達成	-
	牛の位置情報が正しく取得できることを確認	1分間隔で牛の行動をモニタリング	達成	-
④電力インフラの遠隔監視・調査への衛星データ適用実証事業	送電線周辺の地物の変化確認(特定巡視)	AIにより21件中16件特定に成功(76%)	達成	実利用には高分解能衛星画像コスト、撮像頻度不足が課題。
⑤豪州における準天頂衛星システムを活用した自動運転実証	走行中の位置精度	位置精度、7~10cmに収まっていることを確認。	達成	仰角が低い場合、100cm超と極端に精度が悪くなることが課題。
	自動運転車が逸脱した時に管制システムで検知・アラート	アラート発令を確認	達成	-

(3) 活動指標

年度	論文数	国内特許出願	国外特許出願	PCT 出願
2018 年	-	-	-	-

国際標準への寄与
-

プロトタイプの実現
-

5. 事業アウトカム

(1) 事業アウトカムの内容

2030 年代初期までに宇宙産業の市場規模を 2.4 兆円まで拡大する見込みの中、宇宙利用産業は約 7 割の 1.6 兆円規模と想定。このうち、2030 年代初期までに宇宙利用産業の市場規模に約 3400 億円（約 20%程度）貢献されることが期待される。

本年度の事業では 5 チームが採択され、実証事業を実施した。実証で当初の目標を達成したものは多いものの、実際にサービスインや実利用での活用となると、コスト面での課題、精度面での課題、マーケットの小ささ、技術面での課題など、多くの課題がみられる。サービスインやビジネス化までのスピードを考えた場合、「自社でのコスト削減に活用」するケースや「既にサービスを行っており、多くの顧客を抱えている」場合など既存のサービスにオプションなどでオンする形でパッケージ販売できる事業者の方が早くビジネス化が期待される。

(2) 事業アウトカム目標

アウトカム目標		目標の設定理由	目標達成の見込み
2030 年代初期	宇宙産業の市場規模を 2.4 兆円まで拡大する見込みの中、宇宙利用産業は約 7 割の 1.6 兆円規模と想定。このうち、2030 年代初期までに宇宙利用産業の市場規模に約 3400 億円（約 20%程度）貢献。	「宇宙産業ビジョン 2030」（2017 年 5 月 29 日 宇宙政策委員会）及び平成 29 年度製造基盤技術実態等調査事業（ビッグデータにおける衛星データのあり方に関する調査）を元に設定。	達成の見込み。

6. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

衛星データの活用は、コスト面で課題がある場合、衛星データの調達コストがその大部分を占める。我が国における衛星データのオープン&フリー化の取り組みである政府衛星データプラットフォーム「Tellus」には、実証チームによってはコスト削減に非常に期待する声も聴かれた。

各実証チームで必要な衛星データの種類、必要な頻度、撮像の緊急性などが異なるが、一ヶ月から数か月の頻度で衛星画像があれば事業化が期待できるものもあり、引き続き、「Tellus」の普及

活動の拡大、使えるデータの増加、使いやすい形でのデータ提供などに取り組んでいき、「政府衛星データのオープンアンドフリー化・データ利活用促進事業」と連携していきながら、アウトカム達成を目指す

7. 費用対効果

本事業のうち、④電力インフラの遠隔監視・調査への衛星データ適用実証事業の実証チーム構成員である関西電力では送電設備の現地確認業務に年間約20,000人日の人員と約700回のヘリコプターの運航費用等を要しており、これらのコストを本事業の成果により50%削減すると関西電力管内で3億円超のコスト効果が期待される。関西電力の事業規模は日本の1/6程度なので、国内で18億円超のコスト削減が期待されている。

以上のことから、総事業費1.5億円の本事業の費用対効果は十分高い。

第2部 評価

本章では、評価検討会の総意としての評価結果を枠内に掲載している。なお、枠下の箇条書きは各評価検討会委員の指摘事項を参考として列記している。

第 1 章 研究開発課題（プロジェクト）の評価

A 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業（SERVIS プロジェクト）

1. 総合評価

軌道上実証事業については、特に国際的に競争の激しい小型衛星分野において、民間企業にとって機会・資金の面でハードルが高い実証機会を国が提供をすることは、競争力や優位性の確保の観点で非常に重要である。また、適切な6つの研究開発項目が選ばれた上で、海外の開発動向も踏まえた開発を順調に進めており、今後の開発が大いに期待できる。

衛星開発事業については、民生部品の宇宙転用を促進し、各部品の実証情報を整備していくことは非常に重要であり、本事業でデータベースを整備し、広報活動を行う段階になったこと、また、グリーンプロペラント推進系（GPRCS）及び環境計測装置（SPM）が開発され宇宙実証を完了したことは評価できる。

一方、各技術のアウトカムにつなげていく取組及び進行状況には、実施者によって差異が見られ、特に「軌道上実証事業」においては、各技術の軌道上実証が提案者側に委ねられており、アウトカムに展開する部分について十分管理されているとは言いがたく、改善が期待される。

成果報告書については、成果報告内容に不足感があるが、執行団体が変更されても、事業継続性の担保や成果報告内容の充実の観点から情報の引継ぎ等をしっかり行ってほしい。また、“視覚で楽しむ衛星実証プロジェクト”を事業途中で辞退した事業者に関する情報など、今後の参考にするためにも評価用資料に記録を残すべきである。

知財戦略・情報発信については、関連する論文発表、特許出願、国際標準の形成などの成果について具体的な言及が少ない。実績があるのであれば、しっかりとアピールをし、現状において出せていない状況であるのであれば、その理由を示すべきである。

ベンチャー企業などスピード感のある事業者を中心に進めているが、時代を考えると、今後よりスピード感を上げていくことを期待する。

【肯定的意見】

(A 委員)・軌道上実証事業は、日本の宇宙産業活性化のために経産省(国)が支援すべき事業であり、適切な6つの研究開発項目が選ばれている。開発は順調に進んでいると判断できる。同等技術の海外での開発状況も把握しており、本事業でどの部分が優位か（例えばハイパースペクトルカメラの小型・軽量化、EDT 軌道離脱装置の高高度宇宙機への適用性など）、どの部分に注力すべきかを適切に把握しており、今後の開発が大いに期待できる。

・民生部品のデータベースを公開し販売のための広報活動を行う段階になったことは評価できる。グリーンプロペラント推進系（GPRCS）および環境計測装置（SPM）が開発され宇宙実証を完了したことは評価できる。

(B 委員) 国として進めるべき内容を実施している。時代を考えるとスピードはもっとあげる必要があるかもしれないが、ベンチャー活用などスピード感のある事業者を中心に進めており、大変評価できる。

(C 委員) 特になし。

(D 委員) 民生技術の軌道上活用は非常に重要な取り組みであり、日本の強みを発揮して、宇宙におけるイニシアティブを確保する意味で極めて重要である。また、「軌道上実証事業」の目指す、特に国際的に競争の激しい小型衛星分野において、重要技術を実証まで含めて優位性を確保することは非常に重要であると考えられ、本取り組みの意義は大きいと判断される。

(E 委員) SERVIS プロジェクトとしては、今後の宇宙開発の裾野を広げていく上で、民生部品を衛星製造への転用を促進し、認定品を基本的に用いる衛星開発では、このような各部品の実証情報を整備していくことは非常に重要である。一方宇宙実証を行う事は、機

会・資金の面でハードルが高く、良い技術でも宇宙利用されずに埋もれてしまい、結果として競争力が低下していく事に懸念を持っている。実証機会を国として提供し続けていく事は、非常に重要である。

Oneweb など海外では 1500km 軌道に数百基の衛星を投入するような時代になった際に、多少部品の信頼性が落ちても、認定品のような高価かつ性能が限定された部品ではないが、安く高機能な民生を活用する方が、コストメリットが高くなり、ますます民生品の市場は拡大する。この中で、安かろう悪かろうではなく、軌道実証品という付加価値を付した製品を投入する機会を供与する事は、日本国の宇宙開発において非常に重要であり、かつ経済産業省が実施していることに意義があると判断する。

【問題点・改善すべき点】

(A 委員) “視覚で楽しむ衛星実証プロジェクト” が 2020 年度末で辞退した理由は、口頭で聞き書面質問でも確認したが、評価資料でも記載すべきであった。評価するためにも、今後参考にするためにも記録を残すべきである。また、「事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ」において、辞退後の 2020 年度～2023 年度においても同プロジェクトの記載があるのは不自然である。

(B 委員) よりスピード感をあげていくことを期待する。

(C 委員) 特になし。

(D 委員) しかしながら、「軌道上実証事業」においては、各技術の軌道上実証が提案者側に委ねられており、アウトカムにつなげていく取り組み、及び進行状況には、提案者によって差異が見られる。本事業での開発プロセスは適切に管理されているが、アウトカムに展開する部分について十分管理されているとは言いがたく、改善が期待される。

(E 委員) ・本件の受託・取りまとめ事業者が変更されたせいか、成果報告内容に不足感が否めない。事業者が変更されても、しっかりとした成果報告が完了できるように、情報の引継ぎ等事業継続性の担保が必要と考える。

・「事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財や研究開発データの取扱いについての戦略及びルールが十分検討され、具体化されているか。」この点については、具体的な行動をとられているとは認識ができるが、その施策の効果を判断していく必要があると考える。例えば、本事業で取りまとめられた情報は web ページ等で発信をされているが、情報が古く一部 web ページは情報の更新がされていないように見受けられるため、活用の方法を含めて、この項目は今後国際展開戦略も含めて、十分に考慮していく必要があると考える。

・事業アウトプットの目標値は達成されていると理解できるが、関連する論文発表、特許出願、国際標準の形成などの成果について具体的な言及が少ない。その点に関して、実績があるのであれば、しっかりとしたアピールをする必要が有る。現状において論文や特許などを出せていない状況であるのであれば、その理由を示すべきである。

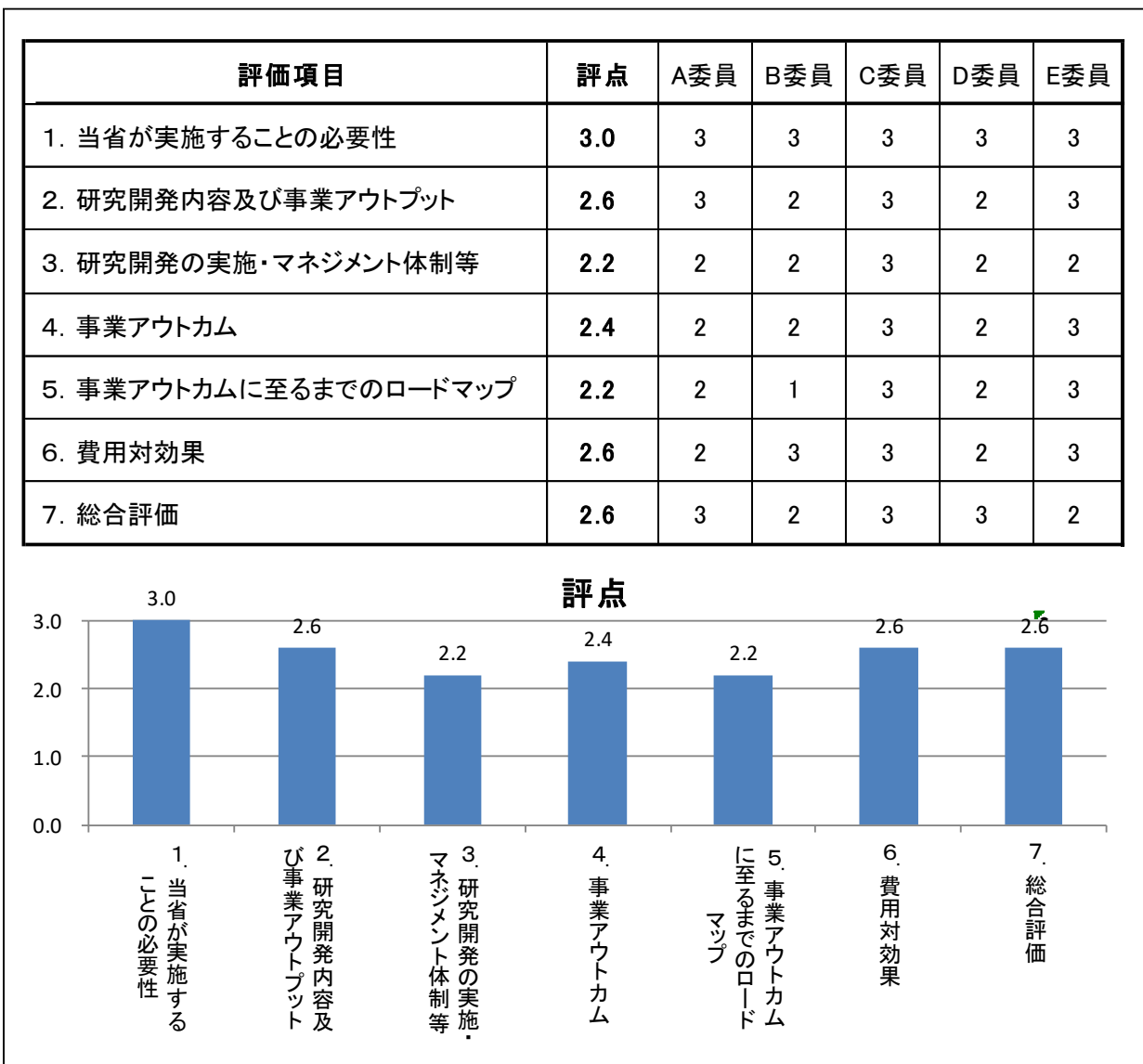
2. 今後の研究開発の方向等に関する提言

提言	対処方針
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証を加速することが、民間からの資金流入を加速することにつながると考えられるため、産業化に向けて、実証事業に資金配分をするのは妥当であり、そのような方向性を強めていただきたい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証事業は産業化に向けて不可欠な取組であり、引き続き十分な実証を行うために必要な資金を確保するように努める。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 軌道上実証や実用化に向けたプロセスについてはコミットできるような仕組みを整備されることが期待される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 目標とするアウトカムにつながるようステージゲート審査など定期的に進捗を確認する場を設けることで、軌道上実証や実用化に向けたプロセスへのコミットを行う仕組みを整備する。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 事業の方向性としては高信頼性、低コスト化とともに今後は大量製造の視点も求められる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人工衛星等の開発を継続するとともに、小型衛星コンステレーションを見据え、複数機生産技術の確立など、大量製造を視野に入れた開発を行う。

【各委員の提言】

- (A 委員) 特になし。
- (B 委員) これまで宇宙開発は、研究開発そのものに資金を投入することが当たり前であったが、産業化（つまり民間主体）を目指すためには、その実証に資金配分をするのは妥当であり、それを加速することが、民間からの資金流入を加速する。そういった方向を強めていってほしい。
- (C 委員) 高信頼性、低コスト化とともに今後は大量製造の視点も求められる。
- (D 委員) 軌道上実証や実用化に向けたプロセスについて、コミットできるような仕組みを整備されることが期待される。
- (E 委員) 特になし。

3. 評点法による評点結果



【評価項目の判定基準】	
評価項目 1～6 3点：極めて妥当 2点：妥当 1点：概ね妥当 0点：妥当でない	評価項目 7 総合評価（中間評価） 3点：事業は優れており、より積極的に推進すべきである。 2点：事業は良好であり、継続すべきである。 1点：事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。 0点：事業を中止することが望ましい。

B 石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発事業費

1. 総合評価

本事業により取得される ISS 搭載 HISUI データは石油資源探査及びその他の地表面探査に極めて利用価値が高いデータである。本事業にて、今後広く使われる可能性があるセンサを技術開発し、軌道上運用が開始され、データの取得が開始されたことは高く評価できる。

一方、センサの小型軽量化は非常に重要な課題であり、世界的な動きは極めて速いので、社会実装に向けて事業アウトカムの指標・目標の前倒しの検討が必要。特に事業アウトカムの項目については、有償提供に関する法的整備も含めて、具体的なビジョンの提供が求められる。

【肯定的意見】

- (A 委員) 本事業により取得される ISS 搭載 HISUI データは石油資源探査およびその他の地表面探査に極めて利用価値が高いデータであり、データ利用および将来のセンサ販売において世界をリードできる可能性が大と認められる。
- (B 委員) 今後、広く使われる可能性があるセンサを技術開発し、その価値を実証しているという点で高い価値がある。
- (C 委員) 特になし。
- (D 委員) 衛星搭載から宇宙ステーション実験への転換など、多くの課題を解決し軌道上での実証を実現した成果は大きいと考える。データも着実に取得されつつあり、データ利用についても適切に対応されていると高く評価できる。
- (E 委員) ・ HISUI の軌道上運用が開始され、データの取得が開始されたことは本事業の中核である為、まずはその点を評価したい。
・ 鉱物・石油に対する画像の解析結果を基に開発を開始・中止を判断できることは、開発事業者にとっては、リソース確保・効率の執行、リスク低減の観点から非常に有用である。今後も石油ガス探査のみならず、様々な資源探査への応用も鑑み、利用環境の整備提供を継続的に進めていくべきである。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 特になし。
- (B 委員) 今後、どのように社会に実装していくのかを検討する必要がある。
- (C 委員) 各産業分野でのデータ利用の拡大、データ有償提供の開始、センサの販売など事業アウトカムの指標・目標の前倒しの検討。
- (D 委員) 今後のセンサの商用展開を考えていく上で、センサの小型軽量化は非常に重要な課題であり、世界的な動きは極めて速いので、本事業内でも将来のアウトカムを見越して、検討を始める必要があるのではないかと考える。
- (E 委員) 事業アウトカムの項目について、特に有償提供についてどの様にて提供をしていくのか、法的整備も含めて、具体的なビジョンの提供があっても良いと考える。

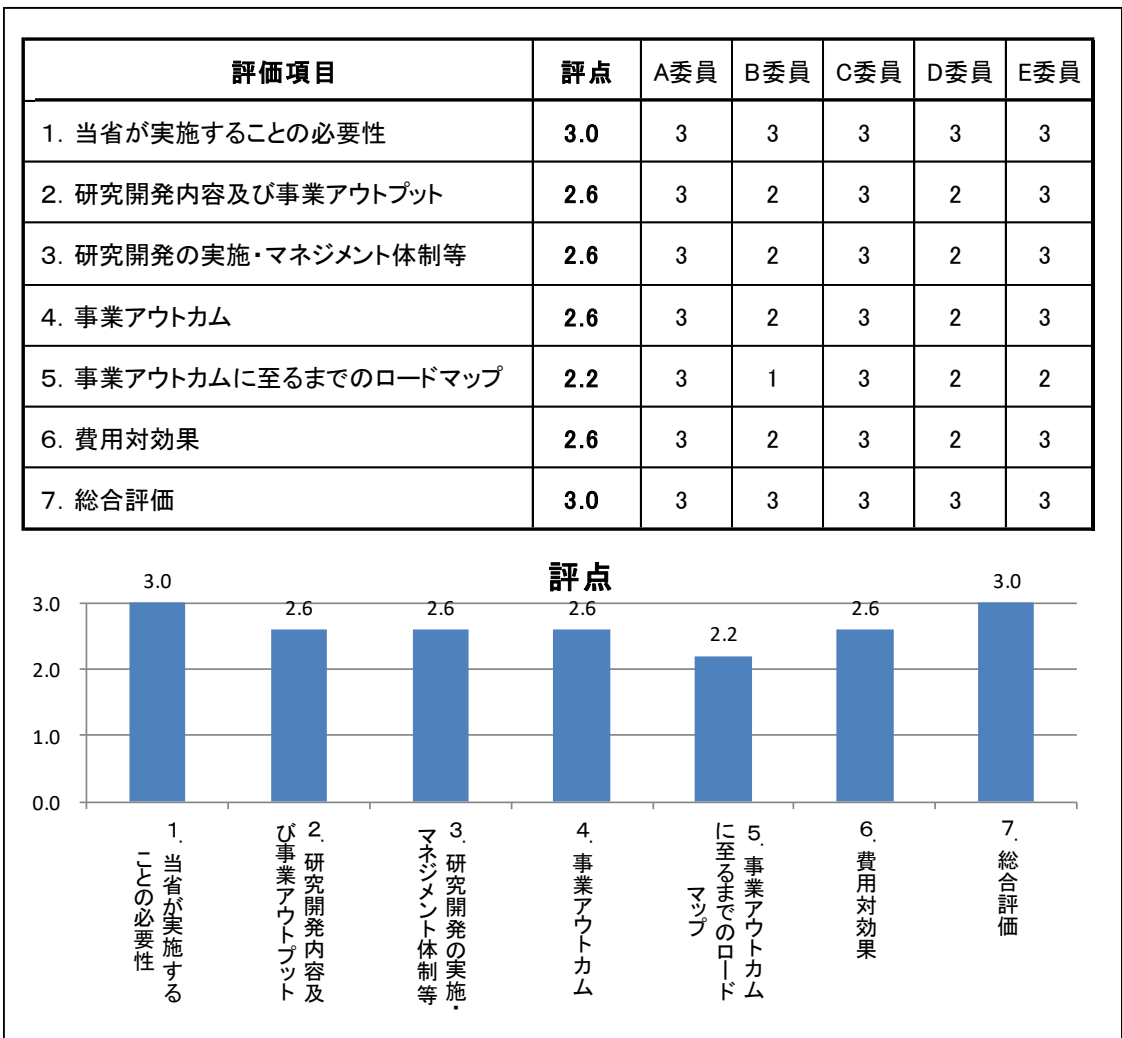
2. 今後の研究開発の方向等に関する提言

提言	対処方針
<p>・ 本来の資源探査のみならず他の様々な分野での利用を積極的に広げ、民間資金による社会実装につなげていくことが重要である。</p> <p>・ 今後のセンサの商用展開を考えていく上で、センサの小型軽量化・低コスト化は非常に重要な課題であり、どのように実現していくのかを現段階から考慮し、指針を示すべきである。</p>	<p>・ 資源探査に限らず、農業、森林等の分野での利用実証やTellusでのデータ配布等を通して、社会実装を推進する。</p> <p>・ センサ開発企業の現有する技術要素や、分光センサに対するユーザニーズなどの調査を通じて、センサの大きさごとの役割を明確化することや、ハードウェアの構成要素の実現性を明確化し、それぞれの小型軽量化・低コスト化へのアプローチ（開発ロードマップの作成など）を行う。</p>

【各委員の提言】

- (A 委員) “事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ”に記載されているとおり、本来の資源探査のみならず他の様々な分野での利用を積極的に広げてもらいたい。そのことがHISUIの価値を高め、地表面情報の取得に役立ち、日本の宇宙産業の活性化にも繋がる。
- (B 委員) 国の資金に頼らず、民間資金による社会実装に繋げていくことが重要である。
- (C 委員) 日本が世界をリードできる分野であり実現するためには光学やSARデータとの利用が進むことに期待。
- (D 委員) 今後のセンサの商用展開を考えていく上で、センサの小型軽量化は非常に重要な課題であり、世界的な動きは極めて速いので、本事業内でも将来のアウトカムを見越して、検討を始める必要があるのではないか。
- (E 委員) ・2035年のアウトカムとしてハイパースペクトルセンサの販売とあり、小型・軽量化ができれば競争力のあるセンサとなるとしている。この点について、同意をする。現状のサイズ・重量・コストを考えると、ハイパースペクトルセンサのシステムを販売する事は難しいと思われる。小型・軽量化・低コスト化をどのようにしていくのかを現段階から、考慮し指針を示してほしいと考える。
- ・またそれと同時に、競争力の高いセンサの開発が難しい場合は、データの有償提供及びデータ整備の方に多くのリソースを割く方へ舵を切る事も必要か考える。この判断はどこかそう遅くないタイミングで判断する事が必要となるのではないだろうか。

3. 評点法による評点結果



【評価項目の判定基準】	
評価項目 1～6 3点：極めて妥当 2点：妥当 1点：概ね妥当 0点：妥当でない	評価項目 7 総合評価（中間評価） 3点：事業は優れており、より積極的に推進すべきである。 2点：事業は良好であり、継続すべきである。 1点：事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。 0点：事業を中止することが望ましい。

C 宇宙太陽光発電における無線送電技術の高効率化に向けた研究開発事業委託費

1. 総合評価

本技術の確立は将来の安定電源の確保やグリーン/クリーンエネルギーの観点から見て、非常に重要である。基盤技術開発において設定された数値目標も大部分でクリアしており、基本的には順調に開発が進んでいるものと理解できる。また、無線送電技術のスピンオフ活動に関しても、電波利用の規制の調整が必要であるものの、実用化を目指して進めていることは評価できる。

一方、市場としては期待されるものの、発電と送電を一体化させるという技術開発については熱収支的には技術的にハードルが高く、実現までには時間がかかることが予測されることもあり、総合効率については、目標の根拠や目標達成までの道筋を具体的に分かりやすく示すことが必要である。

今後、本事業の分野は、難易度は高いものの大きな市場が期待できるからこそ、ベンチャー企業の参入を促すなど、民間資金の活用を検討が必要と考える。

【肯定的意見】

- (A 委員) 宇宙太陽光発電の実用化には大きな技術的課題があるが、その一段階としての本事業の推進に関しては着実に進展していると認められる。本事業と同様内容の米国・中国など海外での開発状況も把握しており全体的に日本の優位性を保つべく事業を進めていることは評価できる。また、無線送電技術のスピンオフ活動に関しても、電波利用の規制の調整が必要であるものの、実用化を目指して進めていることは評価できる。
- (B 委員) グリーン/クリーンエネルギーの観点から見て大変重要な取り組みである。
- (C 委員) 特になし。
- (D 委員) 高効率の無線伝送システムが着実に実現されている点は高く評価できる。また長距離伝送についても実証を計画されており、実現に向けた試みは評価できる。
- (E 委員) 本技術の確立は将来の安定電源の確保のために非常に重要であり、評価者も無線送電技術への期待は非常に高い。設定されている研究開発内容及び事業アウトプットは妥当であると言える。
本事業により、無線送電技術の効率化のための技術開発の推進を図ることは必須であるため、本事業を高く評価している。
基盤技術開発において設定された数値目標も大部分でクリアしており、基本的には順調に開発が進んでいるものと理解できる。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 特になし。
- (B 委員) 今後、大きな市場が期待できるからこそ、民間資金の活用を検討する必要がある。
民間資金からの流入を進めるためにも、ベンチャーの参入を促すことが望まれる。
- (C 委員) 特になし。
- (D 委員) 地球指向での運用を想定したコンセプトから、発電と送電を一体化させるという技術開発を推進されているが熱収支的に、かなり困難が予想される。送信系の高効率化の試みは高く評価できるが、80%効率で成立するとの説明であったので、ロードマップを合わせて考えると、20年以上先でないと実現性が見えないと懸念される。
- (E 委員) アウトプット指標・目標値の設定がどのようにして設定されたのか、理解しづらいところがある。どのような問題をどのようにクリアすれば、効率がどのように改善できるのかななどを、具体的に分かりやすく示すことも必要。(これは前回も指摘しているが、改善がされているとは感じない。)
例えば、「総合効率 60%」を掲げているが、何故「60%」なのか、また、それは何をどのようにすれば改善されるのか、その道筋を示すことが必要。報告書中ではそれらの情報量が不足していると判断した。
投入している費用については、ある意味人類の新たな電源確保につながる技術開発であるので、その規模自体は妥当であると考えますが、その説明として費用対効果について「CO2」の側面からしか語られていない事は疑問が残る。

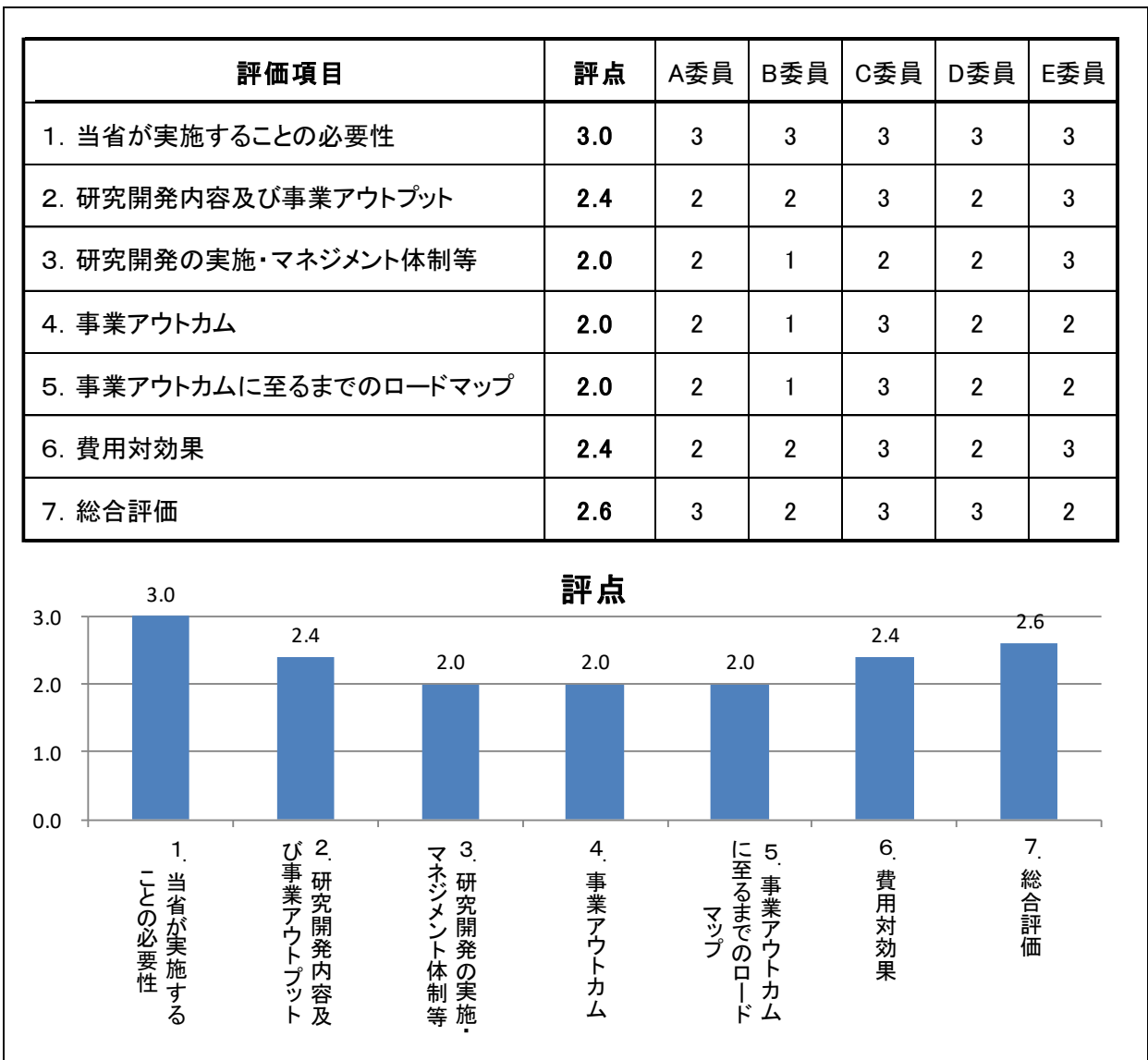
2. 今後の研究開発の方向等に関する提言

提言	対処方針
<p>民間資金からの流入を進めるために、ベンチャーの参入を促すこと、送電技術など実利用と並走しながら事業を進めることなどが望まれる。</p>	<p>将来の宇宙太陽光発電システムの実現に向け送電技術の研究開発を継続しつつ、展示会への出展やビジネス化研究会の開催などにより多様な事業者による参入を促進するための取組を実施するなど、実利用と並走しながら事業を進める。</p>

【各委員の提言】

- (A 委員) 特になし。
- (B 委員) 民間資金からの流入を進めるためにも、ベンチャーの参入を促すことが望まれる。
- (C 委員) 送電技術など実利用と並走しながら事業を進めることも一案だと思われる。
- (D 委員) 地球指向での運用を想定したコンセプトから、発電と送電を一体化させると言う技術開発を推進されているが熱収支的に、かなり困難が予想される。送信系の高効率化の試みは高く評価できるが、80%効率で成立するとの説明であったので、ロードマップを合わせて考えると、20年以上先でないと実現性が見えないと懸念される。
- (E 委員) 特になし。

3. 評点法による評点結果



【評価項目の判定基準】	
評価項目 1～6 3点：極めて妥当 2点：妥当 1点：概ね妥当 0点：妥当でない	評価項目 7 総合評価（中間評価） 3点：事業は優れており、より積極的に推進すべきである。 2点：事業は良好であり、継続すべきである。 1点：事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。 0点：事業を中止することが望ましい。

D 政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利用環境整備事業費

1. 総合評価

衛星のデータの効果的な利用は、非常に重要であり、意義のある事業である。Tellus は初心者でもデータの利用やそれを用いた情報処理が簡単に活用でき、ユーザーフレンドリーを重視したシステムであると認められ、今後の継続的な改良により衛星データ利用を促進するシステムに成長させていくことが期待できる。

一方、KPI やアウトカムの設定、費用対効果の根拠が不足している。あくまでも本事業では衛星データ利用サービス業者を増やすことを KPI とすべきであり、今後、ユーザーの拡大や継続的なデータ利活用には、衛星データを利用したソリューションサービス提供事業の創出を含め、国との適切な連携が必要である。

【肯定的意見】

- (A 委員) 開発された Tellus ver3.0 はユーザーフレンドリーさを重視したシステムであると認められる。今後の継続的な改良により衛星データ利用を促進するシステムに成長させていくことが期待できる。
- (B 委員) 衛星データ利用を広めていくために大変重要な役割を果たしたと考える。
- (C 委員) 特になし。
- (D 委員) 衛星のデータの効果的な利用は、非常に重要であり、意義のある事業と思われる。適切な開発プロセスを経て、事業化をはかっている点は非常に高く評価できる。
- (E 委員) 判定者も Tellus を活用したことがあるが、初心者でもデータの利用やそれを用いた情報処理が簡単に活用できる。データ活用促進の観点から、本事業は成功しているといえる。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 本プロジェクトの費用に関して、中国の CASEarth と比較して 1/10 という説明は、内容が異なるため単純な金額の比較は適当ではない。本評価対象期間（2018 年度～2020 年度）において、本プロジェクトの執行額は複数課題プログラム全体の執行金額の約 43% であるため、その支出内容を示すべきである。
- (B 委員) Tellus 自らが衛星データ利用サービスをするのは、その外でそれを行う業者の圧迫になるため、あくまでも衛星データ利用サービス業者を増やすことを KPI とすべきである。
- (C 委員) 衛星データを利用したソリューションサービス提供事業を創出するための進化。
- (D 委員) ユーザーの拡大や継続的なデータ利活用には、国との適切な連携も必要と考えられるので、今後の連携のあり方について、検討を進められたい
- (E 委員) アウトカムの設定として、市場規模の 20% (3,400 億円) の設定に根拠が不足していると思われる。
活用結果の指標を示していくことが求められる。

2. 今後の研究開発の方向等に関する提言

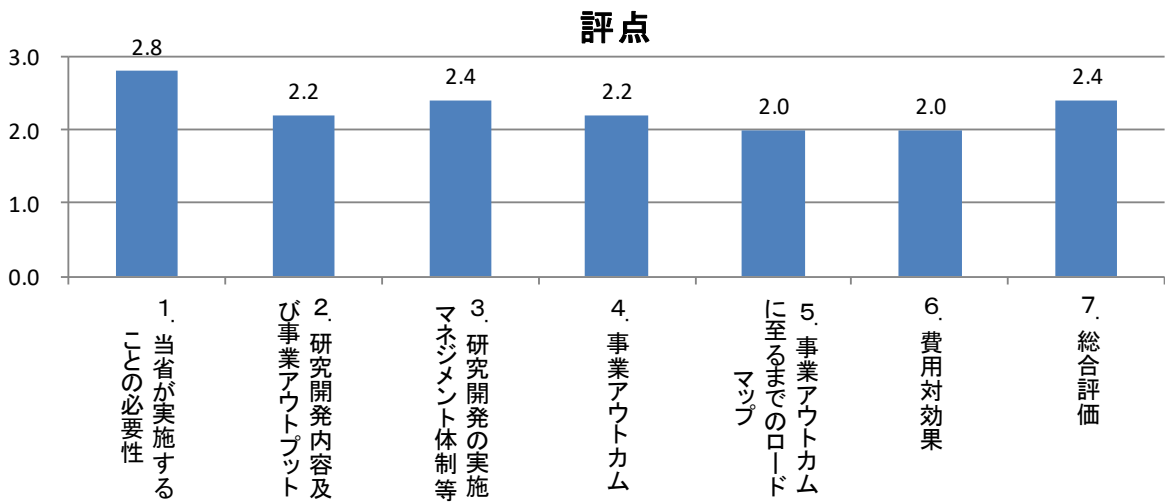
提言	対処方針
<p>Tellus は現時点ではまだ活用の初期段階であり、活用促進がされるかどうかは今後の運用次第である。Tellus を衛星データ利用の日本における中心的なシステムに育て上げるためには、今後もデータの種類を増やし、他のデータベースとの連携を進めるなど、継続的な改良が必要である。</p> <p>商業利用を推進し、民間にデータ利用サービス事業者を増やすことで、データ利用が拡大するプラットフォームであることが望まれる。</p>	<p>Tellus は、民間事業として自立できるか否かが重要。令和4年度以降は、当面は公費ゼロにこだわらず、政府からも一定の支援を行うことで、官民連携で自立化及びより優れたプラットフォームとなることを目指す。</p> <p>政府に蓄積されている衛星データや政府が民間等から調達する衛星データ、地上データ等の有用な地理情報を活用して、地域における社会課題解決のためのビジネスの実証支援を行う。</p>

【各委員の提言】

- (A 委員) 本システム Tellus を衛星データ利用の日本における中心的なシステムに育て上げるためには、今後も（ユーザーフレンドリーさなどの観点から）ユーザーの意見を反映した継続的な改良が必要である。また、衛星以外の他のデータの豊富さ、閲覧のしやすさなどが本システムの利用を拡大させるポイントとなる。
- 現状では Tellus 内のデータは無料衛星 13 種類、有料衛星 6 種類、他の地上データ 14 種類であるが、今後日本の中心的なシステムにするにはデータの種類数（特に地上データの種類数）を増やす必要がある。また、既存の他のデータベースとも連携し、データ利活用の可能性を増やす必要がある。
- 以上を進めるためには国の予算的な支援が必要であろう。
- (B 委員) Tellus が JAXA 衛星のデータを Open&Free で提供しながら、その利用者を増やすことは引き続き実施することが望まれる。ただし、そのデータだけでできることは限られるので、あくまでもその入り口を作り、民間にデータ利用サービス事業者を増やすことが今後重要となる。
- (C 委員) 利用がスケールするプラットフォームであることがのぞまれる。
- (D 委員) 民間事業として自立できることは非常に素晴らしいが、運営する上での国との適切な連携も重要と思われるので、商業利用を推進しつつ、適切な協力形態を実現することが期待される。
- (E 委員) 2021 年度で政府からの援助がなく、事業者自立運用していく必要がある。Tellus のバージョンこそ順調にバージョンアップを進めているが、まだ活用の初期段階であり、本プラットフォームが活用されるかは今後の運用次第であり、今後も経済産業省もフォローされることを想定されているので、引き続き独り立ちできる様、市場要求に対してフォローされる事を願う。

3. 評点法による評点結果

評価項目	評点	A委員	B委員	C委員	D委員	E委員
1. 当省が実施することの必要性	2.8	3	2	3	3	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	2.2	2	2	2	2	3
3. 研究開発の実施・マネジメント体制等	2.4	2	1	3	3	3
4. 事業アウトカム	2.2	2	2	2	2	3
5. 事業アウトカムに至るまでのロードマップ	2.0	1	1	3	3	2
6. 費用対効果	2.0	1	2	2	2	3
7. 総合評価	2.4	2	2	2	3	3



【評価項目の判定基準】

評価項目 1～6

- 3点：極めて妥当
- 2点：妥当
- 1点：概ね妥当
- 0点：妥当でない

評価項目 7 総合評価（終了時評価）

- 3点：実施された事業は、優れていた。
- 2点：実施された事業は、良かった。
- 1点：実施された事業は、不十分なところがあった。
- 0点：実施された事業は、極めて不十分なところがあった。

E 衛星データ統合活用実証事業費

1. 総合評価

衛星データを効果的に活用した、アプリケーションについての検討及びその事業化は、市場の掘り起こしにつながり極めて重要である。本事業の実施により、各研究開発項目において実利用化するために克服すべき問題点を明らかにしたことは一つの成果である。また、妥当な目標設定及び体制を構築していたと評価できる。

一方、アウトカムについての目標設定や評価があいまいである。マーケットの小ささを課題で挙げているが、初期のアウトカム設定時に市場調査などをもう少し深く実施し、見積もっていく必要があると考える。費用対効果については他の事例についても精査すべきである。

【肯定的意見】

- (A 委員) 本事業において多様で適切な 5 件の研究開発項目（実証チーム）を選んだこと、およびそれを推進した体制は評価できる。本事業の実施により、各項目において実利用化するために克服すべき問題点を明らかにしたことは一つの成果である。
- (B 委員) 開始当時としては妥当な目標設定および体制だったと考える。
- (C 委員) 特になし。
- (D 委員) 衛星データを効果的に活用した、アプリケーションについての検討及びその事業化は、極めて重要で、その点において非常に意義が大きく、且つ、興味深い成果を得ていると思われる。
- (E 委員) 衛星データ統合活用について、国としてその活用方法を示していくこの事業を実施していくことは、市場の掘り起こしにつながり有意義であると考ええる。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 特になし。
- (B 委員) 特になし。
- (C 委員) 特になし。
- (D 委員) 難しいとは思いますが、特にアウトカムについての目標設定や評価が曖昧で、今後の発展の方向性が必ずしも明快でない。
- (E 委員) 事業アウトカムにおいて、「マーケットの小ささ」などを課題で挙げられている。このあたりについては初期のアウトカム設定時に市場調査などをもう少し、深く実施し見積もっていく必要があると考える。
費用対効果について、項目④の電力インフラ遠隔監視についてのみ言及をされている。ほかの項目についても、費用対効果を精査していくべきである。

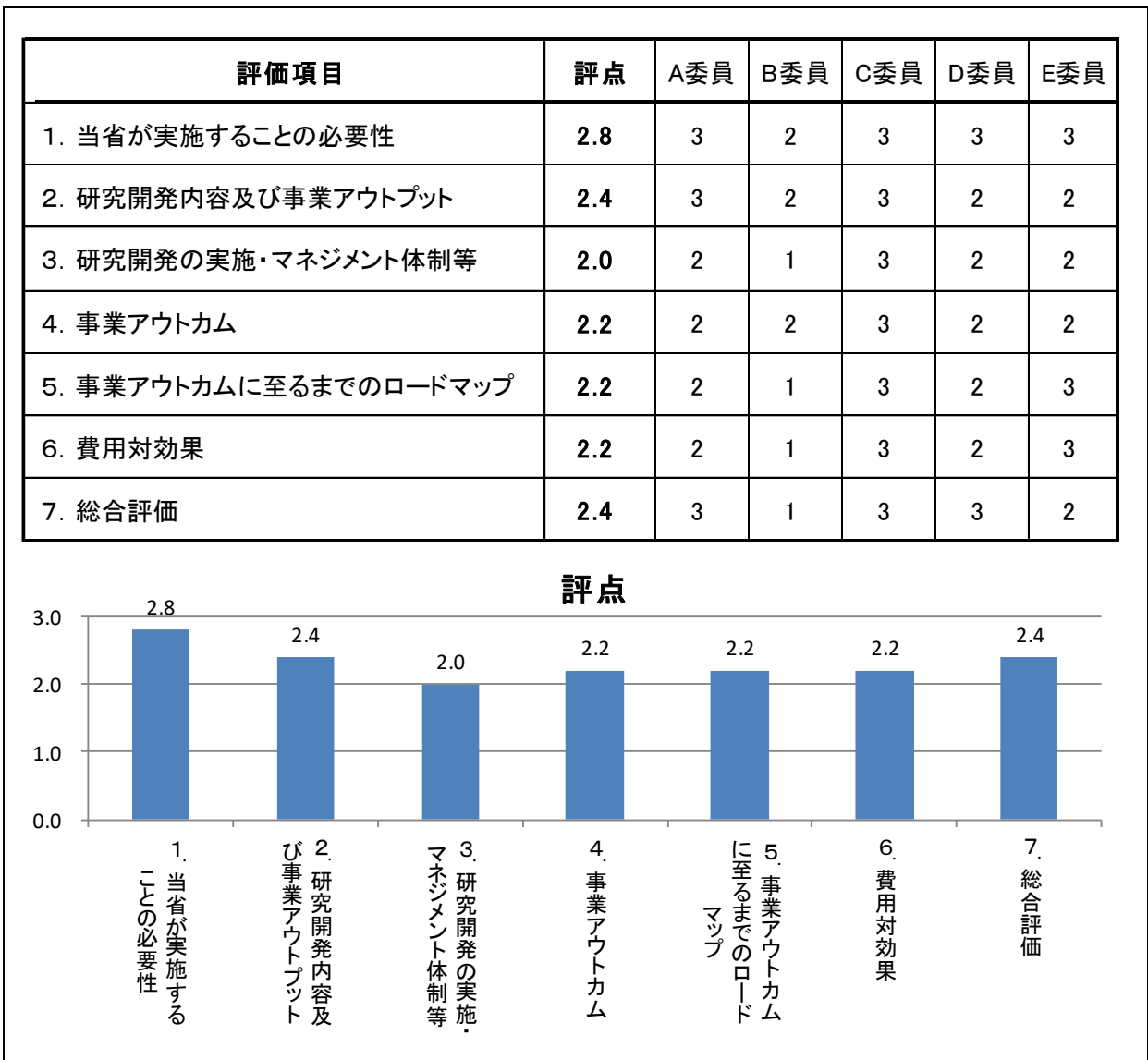
2. 今後の研究開発の方向等に関する提言

提言	対処方針
<p>衛星データを他のデータと融合してソリューションを創るアルゴリズムが求められる。新たなニーズの掘り起こしとして他省庁と連携してトップダウン的に衛星データ活用の場面を作り出す試みも検討いただきたい。</p>	<p>令和4年度以降は、地方公共団体等のユーザーのニーズを踏まえ、社会課題解決のための衛星データを利用したビジネスの実証支援を行うとともに、地上データ等の有用な地理情報の活用や、関係省庁との連携を行っていく。</p>
<p>類似の事業を進める際は市場動向調査などをもう少し詳細に実施し、成果の評価の定量性も考慮して適切な成果目標の設定を行うべきである。</p>	<p>現在、衛星データ産業は黎明期であり、評価項目の設定が困難だが、国内外の市場動向を踏まえつつ、中間目標、長期目標を設定し、毎年見直しを行い、市場動向に即したアウトカムを設定して、事業を実施していく。</p>
<p>今後については、国の資金導入以上の民間資金導入が行われる体制が望ましい。</p>	<p>補助金や懸賞金制度等の予算措置を活用することも念頭に置き、民間資金導入を促す。</p>

【各委員の提言】

- (A 委員) 今後は「政府衛星データのオープンアンドフリー化・データ利活用促進事業」においても衛星データ活用の可能性を探るべく実証を継続することを強く推奨する。このとき対象とする実証事業の選択が重要となってくる。また、今回のアウトプットを生かした（見出した克服すべき課題を考慮した）形の実証事業もあり得るだろう。
- 個別の事業における衛星データ活用の促進をボトムアップとすれば、新たなニーズの掘り起こしとして例えば農林水産省、国土交通省などと連携してトップダウン的に衛星データ活用の場面を作り出す試みも検討していただきたい。
- (B 委員) 現在は、研究開発に対する資金提供が、民間からの資金導入を促すものとすべきであり、今後は国の資金導入以上の民間資金導入がおこなわれる体制での実施が望ましい。
- (C 委員) 衛星データを他のデータと融合してソリューションを創るアルゴリズムが求められる。アルゴリズムどうしの掛け合わせで新たなソリューションを生むなど衛星データ利用は進化しているように思える。
- (D 委員) 類似の事業を進める際、成果の評価の定量性について、検討する必要があると思われる。
- (E 委員) アウトカム設定時に、市場動向調査などをもう少し詳しく実施をし、適切なアウトカム設定を行うべきと考える。

3. 評点法による評点結果



【評価項目の判定基準】	
評価項目 1～6 3点：極めて妥当 2点：妥当 1点：概ね妥当 0点：妥当でない	評価項目 7 総合評価（終了時評価） 3点：実施された事業は、優れていた。 2点：実施された事業は、良かった。 1点：実施された事業は、不十分なところがあった。 0点：実施された事業は、極めて不十分なところがあった。

第2章 複数課題プログラムの評価

1. 当省(国)が実施することの必要性

宇宙産業が発展する上で重要になるポイントについて、官民で連携して戦略的に取り組まれており、高く評価できる。リスクが高く、民間からの自己投資だけで行うのが困難な事業、あるいは他国では国の資金で実施されており民間資金だけで実施すると競争力が得られない事業について、産業を育成・促進するための初期投資として経済産業省が推進することも極めて妥当である。

また、リモートセンシングで得られた情報は安全保障上の観点から国が関与しデータの長期保全の担保を考える必要がある。

一方、宇宙産業は世界的に見て非常に活発な事業領域であり、日本発の技術による将来のスタンダードを目指す場合は、今後も国として、レバレッジを意識しつつ資本投下をより一層積極的に行う必要がある、あわせて、ベンチャーを体制に入れるなど民間からの資金導入を促進することも明示的に考える必要がある。

なお、複数課題プログラム全体としては予算規模が大きいいため、個々の事業の効率的な運用と、各事業の進捗及び終了後の適切な評価が重要である。

【肯定的意見】

(A 委員) 本複数課題プログラムを構成する5つのプロジェクトのうち3つは、既に3年前の中間評価において国が実施することの必要性が十分に認識されており、今回の評価対象期間(2018年度～2020年度)においてもその必要性は変わらない。

残りの2つのプロジェクト、すなわち“オープン&フリー化”と“衛星データ統合活用実証”に関しては、衛星データの利用産業を育成・促進するために必要不可欠であり、初期投資として民間に負担させるには多額の予算を必要とするため経産省が推進することは極めて妥当である。

(B 委員) リスクが高く、民間からの自己投資だけでおこなうのが困難なもの、あるいは他国では国の資金で実施されており民間資金だけで実施すると競争力が得られないものに対して実施しているものは評価できる。

(C 委員) 民間企業が社会実装の実現に向けて官民連携で機会を創出し、課題に挑戦する機能を有している。

(D 委員) 宇宙産業が発展する上で重要になるポイントについて戦略的に取り組まれており、高く評価できる。また多くの事業で、商用化を意識した取り組みがなされている点も評価できる。

(E 委員) 全ての課題において、長期的サポートが必要な案件であり、継続実施が必要である為、本選定事業の継続実施に疑いの余地はない。

民間の開発を後押しする事は、国の責任であり、onewebなどの急激に民間利用が進展している社会情勢の中で、日本の宇宙開発を推し進め技術プレゼンスを発揮させるためには国による継続サポートが必要であると考えます。

また、リモートセンシングで得られた情報は安全保障上の観点からも、国が関与しデータの長期保全の担保を考える必要が有る。

SSPS や HISUI などの基幹技術は日本が得意とする分野でもあり、国際的な観点からも先導性を有しているものの、中国などに追い上げられている状況でもある。継続投資を行う事で、さらなる技術革新を創出させることがこれらの基幹技術における日本の優位性の確保につながるものとなる。以上より、国が宇宙基本計画や宇宙産業ビジョンなどの政策に必要とされる技術に投資をしていく事は必須である。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 特になし。
- (B 委員) 近年、宇宙分野への民間資金導入も進んできているため、ベンチャーを体制に入れることで民間からの資金導入を促進することは明示的に考える必要がある。(研究開発費で利益を得る企業は限定的にすべきである。)
- (C 委員) よりレバレッジを意識した実行がのぞまれる。
- (D 委員) 課題が多岐にわたり、全体としての予算規模が大きいので、個々の事業の効率的な運用と、進行状況の適切な評価が重要。特に、事業終了後の成果展開についても、責任を持って注視していく必要があると思われる。
- (E 委員) 経済産業省における予算規模を考えると、現在の事業規模の維持に留まる事は致し方ない。

しかしながら、宇宙産業は世界的に見て非常に活発な事業領域であり、日本初の技術による将来のスタンダードを目指す場合は、国としての資本投下を積極的に行う必要があり、現状の予算規模維持はもとより、予算拡大による補助事業拡大も必要に挑戦を継続的に行っていただきたい。

2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性

本プログラムを構成するプロジェクトの内容は、宇宙産業ビジョン 2030 及び宇宙基本計画に沿った極めて妥当な内容である。宇宙産業及び市場利用として重要なポイントを、広範囲にわたってカバーしており、今後の宇宙産業の発展に対する貢献が期待される。

一方、研究開発内容については、技術的優位性と社会的優位性の両方を獲得するために国際競争力を一層注視することが求められる。あわせて、よりエコシステムの観点で、どのように社会で広げるか、つまり受託事業者が実装するだけでなく、どのようにそれが広がるか、などの観点も重要である。

また、アウトプット指標の設定根拠や今後の見通しが不明確なものが見受けられるので、今後改善されたい。論文や特許等の件数については、予算額と比較すると、相対的に少ない印象を受ける。

【肯定的意見】

- (A 委員) 宇宙産業ビジョン 2030 (宇宙政策委員会 2017)、宇宙基本計画 (閣議決定 R2, 2020) では日本の宇宙産業の発展には宇宙利用産業 (ソフト) と宇宙機器産業 (ハード) の双方の育成・促進が必要であるとしている。

本複数課題プログラムにおいては、本評価対象期間の前から継続しているハード面のプロジェクトである“SERVIS プロジェクト”、“ハイパースペクトルセンサ HISUI”、“無線送電技術” および新たなソフト面のプロジェクトである“オープン&フリー化”、“衛星データ統合活用実証”などがバランスよく含まれている。

すなわち、本複数課題プログラムを構成するプロジェクトの内容は、宇宙産業ビジョン 2030 および宇宙基本計画に沿った極めて妥当な内容であり、今後の宇宙産業の発展に対する貢献が大と認められる。

- (B 委員) これまでの環境をみた場合、内容および事業のアウトプットは妥当であった。
- (C 委員) 特になし。

- (D 委員) プログラムの戦略的な方向性には賛同でき、目的は概ね適切に設定されていると考えられる。宇宙産業及び市場利用として重要なポイントを、広範囲にわたってカバーしている。
- (E 委員) 各事業において、現状を理解し、概ね必要十分な達成目標を設定されていると判断できる。また、アウトカムを実現するための適切なアウトプットを設定していると判断できる。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 特になし。
- (B 委員) 今後は、よりエコシステムの観点で、どのように社会で広げるか、つまり受託事業者が実装するだけでなく、それが広がるか、などの観点も重要である。
- (C 委員) 技術的優位性と社会的優位性の両方を獲得するためには国際競争力を一層注視することが求められる。
- (D 委員) それだけがアウトプットではないが、論文や特許等の件数については、予算が大きい分、相対的に高い評価はしがたい。また、課題設定として、どちらかという戦略的必要性に重きを置いているように感じられ、挑戦的な要素は多くないと思われる。
- (E 委員) 一部の課題において、アウトプット指標の数値の設定について説明が不足しているもの、見通しが不明確である状況が見受けられた。定量的な指標には理由が伴って示されるべきであるので、今後の改善に是非期待したい

3. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性

研究開発の実施担当者の選定・実施体制については、その開発に適した人材(機関)が配当され、スムーズに事業が進む実施・マネジメント体制が構築され、着実な研究進捗を保って実施できていると考えられる。資金も必要量が適切に分配されているものと理解できる。

一方、これだけ重要な施策を実施しているのに、国民に対して、より積極的に分かりやすくアピールすることが重要である。また、知財戦略やデータポリシーにおいても更なる強化が求められる。

今後の実施体制の検討に当たっては、各事業間で統合的にニーズ調査・市場動向予測等を戦略的に実施しうるコンソーシアム等を形成し、その調査結果を各事業に反映させていくことが望まれる。

【肯定的意見】

- (A 委員) 特になし。
- (B 委員) これまでは、確実に成果の出せる企業へ発注して、実施しており、妥当であった。
- (C 委員) スムーズに事業が進む実施・マネジメント体制がとられていたことが事業アウトカムから見て取れる。
- (D 委員) 個々の事業は適切に管理できていると判断できる。広範にわたる事業を、効率よく適切に運用している点は高く評価できる。
- (E 委員) 対象事業において、各課題において進捗に大きな差はなく、当初計画の通り進められているものとする。

研究開発の実施担当者の選定・実施体制についても、その開発に適した人材(機関)が配当され、実施体制が構築されており、複数課題であってもその執行体制により、着実な研究進捗を保って実施出来ていたと考えられ、評価できる。

また、資金も必要量が適切に分配されているものと理解をしている。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 個々のプロジェクトでなく複数課題プログラム全体を国民に対して分かり易く伝えることにより宇宙産業の現状と今後を知ってもらう広報活動に全予算の例えば 0.1%程度を支出する価値はあると思われる。
- (B 委員) 今後は、アジャイルに、いかに早く回せるか?という点で、失敗を許容しながら早く回すことをめざしていくことが望ましい。
- (C 委員) 知財戦略やデータポリシーにおいてはさらなる強化が求められる。
- (D 委員) 「国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動」という意味では、経済産業省の宇宙関連政策が広く認識されているとは言いがたいと思う。これだけ重要な施策を実施しているので、わかりやすく、アピールすることが重要と思われる。
- (E 委員) 全ての課題において、広報戦略を明確にし、国民の皆さんに対して広く理解を求めているかは、報告資料からは判断できない。また、ニーズ調査・市場動向予測の点においては、各事業間で差があり、少々調査不足が伺える事業も見受けられた。各事業者の規模や能力を見た際に、それを得意としてない場合も考えられ、そのような場合には、必ずしも実施事業者がニーズ調査や市場動向予測を確実に実施する事は必要が無いと評価者は考える。むしろ各事業間で統合的にニーズ調査・市場動向予測等を戦略的に実施しうるコンソーシアム等を形成し、その結果を各事業に反映させていくことの方が各事業者の得意分野を生かしたがプログラム実施体制が構築できるのではないかと考える。

4. 事業アウトカムの妥当性

各事業は、社会にインパクトをもたらす問題解決に与える効果が期待され、事業アウトカムを明確化しようという試みは高く評価できる。

また、今後の市場動向をにらんだ、データ・エネルギーの両面からの事業を推進していることが伺え、市場の掘り起こしや成功すれば世界を先導する事が可能な事業も含まれており、バランス感が伺える事業内容となっていると判断できる。

一方、近年の宇宙開発における民生品利用やデータ利用は加速度的に進んでいる。グローバルな社会情勢において、達成時期を含めアウトカム設定自体を柔軟に見直していくことが必要である。その際、特に民間資金の流入を考慮したアウトカム指標も検討すべきである。

また、個々の事業のアウトプットをアウトカムとして混同して設定しているものが見受けられるので、市場動向調査やそのデータに基づく将来予測を十分に行った上で、アウトカム目標の議論をしていただきたい。

今後は大規模でなくても良いが、挑戦的で萌芽的な取組に力を入れられると更に良い。

【肯定的意見】

- (A 委員) ・“SERVIS プロジェクト”では、実用化件数をアウトカム指標としており、これは妥当であ

る。

- ・“ハイパースペクトルセンサ”プロジェクトのアウトカム指標は妥当である。
- ・“宇宙太陽光発電・・・”プロジェクトでは、定量的なアウトカム指標を設定しており妥当である。

(B 委員) これまでの状況としては妥当であったと考える。

(C 委員) 各事業は、社会にインパクトをもたらす問題解決に与える効果が期待される。

(D 委員) 個々の事業において、事業アウトカムを明確化しようという試みは高く評価できる。事業によって濃淡はあるが、明確化することで進める効果は確実にあると思われる。

(E 委員) 経済産業省自体が設定しているアウトカム自体は日本の国情を反映した的確なものになっていると思われる。また、今後の市場動向をにらんだ、データ・エネルギーの両面からの事業を推進していることが伺え、また市場の掘り起こしや成功すれば世界先導する事が可能な事業も含まれており、バランス感がうかがえる事業内容となっていると判断できる。

【問題点・改善すべき点】

(A 委員) 特になし。

(B 委員) 民間資金の流入が見込まれる現状では、その観点をアウトカム指標および目標値に考慮すべきである。

(C 委員) グローバルな社会情勢において達成時期を含む柔軟な見直しが常に必要であると感じる。

(D 委員) 全体として、戦略的な必要性を優先されている印象があり、挑戦的で時代を先取りするようなテーマ設定はあまり多く感じられなかった。大規模でなくてもよいが、今後挑戦的で萌芽的な取り組みに力を入れられるとさらに良いと思う。

(E 委員) 事業の具体案件に入ると、アウトプットとアウトカムを混同しているように見受けられる箇所がある。評価者は、アウトカムは各事業によって得られた成果が、今後の社会の中でどのような展開が得られるかを示すものであり、「各事業のアウトプット=各事業のアウトカム」ではない。

これの原因として市場動向調査やそのデータに基づく将来予測が不足していること、もしくは深い分析まで至っていないことにあると思われる。国家予算が投入される事業であるので、しっかりとした分析や将来展望に基づくアウトカムの議論を頂きたい。

また、近年の宇宙開発における民生品利用やデータ利用は加速度的に進んでいるため、適宜社会情勢に応じてアウトカムやの設定自体を見直していくことも必要であると考えられる。

その点において、経済産業省、あるいはシンクタンクの英傑の方々のサポートが必要であると考えられる。

5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性

各事業におけるロードマップはアウトカムの達成に必要な実証や性能を満たした設定となっている。無理のないロードマップで概ね達成できており、ロードマップを分析しつつ進める方針は非常に高く評価できる。

一方、世界の競合環境や AI など他産業の技術の進展や脱炭素など環境保全の取組などが加速している中、スピード感を重視して進めていく必要がある。

また、ロードマップは、時間軸も含めて誰が何をどのように実施するのか、知財戦略も含めて作成されることが望まれる。

【肯定的意見】

- (A 委員) 特になし。
- (B 委員) これまでの状況では妥当であったと考える。
- (C 委員) 無理のないロードマップで概ね達成できている。
- (D 委員) ロードマップを分析しつつ進める方針は非常に高く評価できる。
- (E 委員) 各事業におけるロードマップはアウトカムの達成に必要な実証や性能を満たした設定となっていると考えられる。また、規制緩和後の需要を鑑みたロードマップになっていると考えられる。

【問題点・改善とする所見】

- (A 委員) “オープン&フリー化” プロジェクトでは、アウトカム達成のため「・・・政府は予算措置を行うことで衛星データの利活用促進に取り組む」としている所は評価できるが、時間軸も含めて誰が何をどのように実施するのかの内容も含めたロードマップを作成することが望ましい。
- (B 委員) 今後は、ネットワーク経済性を考慮し、性能よりもスピードを重視して軌道上実証をすべきである。
- (C 委員) 世界の競合環境や AI など他産業の技術の進展や脱炭素など環境保全の取り組みなどが加速している中、スピード感を意識する必要があると感じる。
- (D 委員) 但し、アウトカムの設定とその定量的な評価は実際にはかなり難しく、事業によっては判断が曖昧な物も見られた
- (E 委員) 知財の管理については、全ての事業について、言及が少ない状況である。知財戦略が企業運営上重要なことは言うまでもなく、その点において何らかの言及があつてしかるべきである。また、費用対効果の部分で述べるが、投下資金の割には知財や論文数などが少ないものも見受けられた。もちろん事業者の特許戦略との兼ね合いもあるものと認識はしているが、もう少し、詳細な説明をすべきである。

6. 費用対効果の妥当性

民間が単独で実施するにはリスクの高いものについて、長期的な視点から支援している事業であり、その点から、投入されたコストは妥当であると考えられる。また、事業成果についても概ね投入コストに見合ったものが出ていると考えられる。

実証機会への補助が民間事業者の自己投資を促す仕組みになっており、市場や技術の国際競争力などを見据えた費用対効果も検討されている。

一方、衛星データ関連の事業でコストが大きくなっているものの、今後ソリューションサービスを推進することにより創出できる市場があると考えられるので検討して欲しい。

また、成果の分かりやすい説明と国民との共有が重要である。

資金投下の割合に対する特許や論文数が少ない印象があるので、どのような知的財産戦略をとっているのかについても言及するべきである。

【肯定的意見】

(A 委員) 本評価対象期間（2018 年度～2020 年度）における複数課題プログラム全体の執行総額は約 76 億円であり、約 10 年以上に渡る 3 プロジェクトに対してはその約 55%、2018 年度以降の新しい 2 プロジェクトに対しては 45%であった。これは従来からの必要継続プロジェクトと時代の要請に沿った新しいプロジェクトとの双方にバランスよく配分していると言える。

この執行総額の 43%は“オープン\$フリー化”プロジェクトに対してであり、32%は“ハイパースペクトルセンサ HISUI”プロジェクトに対してである。“オープン\$フリー化”プロジェクトではユーザーフレンドリーな Tellus ver3.0 を完成公開しており計画通りの事業アウトプットが得られている。

“ハイパースペクトルセンサ HISUI”プロジェクトでは、HISUI データは得られつつあり、事業アウトプットは達成されつつある。HISUI データの利用に関しては研究体制が十分であると見られるため事業アウトカムも達成できる見込みが大である。

(B 委員) 民間が単独で実施するにはリスクの高いものを実施しており、評価できる。

(C 委員) 実証機会への補助が民間事業者の自己投資を促すしくみになっている。市場や技術の国際競争力などを見据えた費用対効果が検討されている。

(D 委員) 個々の事業について、妥当であると判断される。

(E 委員) 定められたアウトカムを達成するためのアウトプットを出すためには長期的な視点での支援が必要であり、その点から、投入されたコストは妥当であると考えられる。また、実施に必要な人件費や研究開発費であり、概ね投入コストに見合った成果が出ているものと認識している。

【問題点・改善すべき点】

(A 委員) 特になし。

(B 委員) 今後は、民間資金流入を促す形での実施が望まれる。

(C 委員) 現在のコストに替わる効率化の方向性ととも衛星データに関してはソリューションとしてサービスを提供することにより創出できる市場もある。

(D 委員) 個々の事業としては十分最適化されていると思われるが、全体としての予算額としては大きくなるので、成果のわかりやすい説明と国民との共有が重要である。

(E 委員) 出された成果について疑いはない。但し、技術開発が伴う事業において、知的財産の確

保の観点から考えると、資金等価の割合に対する、特許や論文数が少ないものも見受けられる。事業者の特許戦略との絡みもあるので、一概に一定の数の枷をはめる事はできないが、少なくともどのような知的財産戦略をとっているのかは言及がされても良いものとする。

7. 総合評価

本プログラムは、宇宙産業ビジョン 2030、宇宙基本計画（令和 2 年 6 月 30 日閣議決定）の計画・提言に沿い日本の宇宙産業を発展させるために多方面からのアプローチを実施している。その内容は、長期に渡るもの、比較的短期のもの、機器に関するもの、ソフトに関するもの等多岐に渡っており、これらをバランスよく含め、全方位からプログラムの目的を達成しようとしている。

宇宙開発には時間とコストがかかり、一民間企業で進めることにはリスクが大きいことから、経済産業省による継続した支援は非常に効果的である。

一方、今後の課題設定に当たっては、時代の変化を加味し、よりチャレンジングな課題に取り組むことが重要である。

なお、事業評価検討会に提出する資料は、適切な評価を行うためにも事業アウトプット、事業アウトカムとの定義を踏まえて適切に記載していただきたい。

【肯定的意見】

- (A 委員) 本複数課題プログラムは、宇宙産業ビジョン 2030（宇宙政策委員会 2017）、宇宙基本計画（閣議決定 R2, 2020）の計画・提言に沿い日本の宇宙産業を発展させるために多方面からのアプローチを実施している。その内容は、長期に渡るもの、比較的短期のもの、機器に関するもの、ソフトに関するもの等多岐に渡っており、これらをバランスよく含め、全方位からプログラムの目的を達成しようとしており高く評価できる。
- (B 委員) 全体としては、時期を考慮して、妥当な実施であったと言える。
- (C 委員) 社会に貢献する宇宙利用を推進する事業であると評価できる。
- (D 委員) 超小型衛星活用の急速な発展など、宇宙産業の大きな変化の中で、重要なポイントについて積極的総合的に取り組まれていることを高く評価いたします。地上技術・産業と宇宙の融合は非常に重要なテーマと考えます。
- (E 委員) 全体的に、国の施策に則った必要な開発事業が行われており、費用対効果と共に評価できるものとする。宇宙開発には時間とコストがかかるため、一民間企業で進める事にはリスクが大きいから、経済産業省による継続した当該事業実施は非常に効果的であるとする。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 3 年前の評価においても事業アウトプット、事業アウトカムの定義をよく理解していない資料を提出しているとの委員からのコメントがあったが、今回もそれが是正されていない例がある。今後は資料作成前に事業者に出プット・アウトカムの書き方を説明すべきではないか。
 - ・今回の評価のための事業者からの資料の中には、表内に記載する欄の間違い、認識の間

違いなど簡単なエラーが複数箇所見られた。今後は資料提出の前にチェックしていただきたい。

(B 委員) 今後は時代の変化を加味したものとすべきである。

(C 委員) 変化が激しい状況を的確にとらえ柔軟に見直しながら進める。

(D 委員) 戦略的に重要なポイントに集中しているように思われ、よりチャレンジングな課題に先を見越して取り組むことも重要かと思えます。

(E 委員) 前項、あるいは個別事業にて言及したように、多少の改善点はあるが、大きな問題であるとは認識をしていない。

経済産業省における宇宙開発事業に対して、その規模を維持(あるいは拡大)し、継続的な支援を如何に行っていくかが、ポイントである。今後とも御省の政策立案に期待したい。

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

提言	対処方針
<ul style="list-style-type: none"> 宇宙開発も一般的な産業に近づいており、リスクが高い事業については引き続き国が支援するべきだが、事業を検討する際は、民間資金の流入が促進されるかどうかやスピード感を重視し、そのような研究開発の方向性を目指すことが望まれる。 	<ul style="list-style-type: none"> 今後の研究開発については、国際競争力を意識し、開発のスピードにはより留意する。また、「補助金」や「懸賞金制度」の予算措置を活用することも念頭に置いて事業を実施し、当該事業の成功によって、より民間資金の流入が促進されるよう取り組んでいく。
<ul style="list-style-type: none"> これまで得たノウハウを生かしていかに日本の強みとするか、政府によるサポートや研究開発内容や、他の技術分野及び地上産業との連携などについても検討し、社会実装における技術革新を図るべきである。 	<ul style="list-style-type: none"> 引き続き、他の技術分野及び地上産業の優れた技術の宇宙転用を推進する。また、政府と民間の役割分担・連携を行いつつも、民間でエコシステムが回るような施策を検討した上で、社会実装につなげていく。
<ul style="list-style-type: none"> 衛星データの利用に関しては Tellus のユーザーフレンドリーさや他データとの統合利用、衛星データ活用事例研究、衛星データ利用ニーズの戦略的開拓などを継続的に推進すべきである。 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星データの利活用に関しては、Tellus の整備を通して、衛星データを利用しやすい環境整備を行う。また、地域における社会課題解決のためのビジネスの実証支援を行う。
<ul style="list-style-type: none"> アウトカム設定時には、市場動向調査などをもう少し詳しく実施し、適切なアウトカム設定を行うべきと考える。 	<ul style="list-style-type: none"> アウトカムの設定については、国内外の市場動向を踏まえつつ、中間目標、長期目標を設定し、毎年見直しを行い、市場動向に即したアウトカムを設定して、事業を実施していく。

【各委員の提言】

(A 委員) ・複数課題プログラムが終了する 2023 年度以降に関して、5 つのプロジェクトのうち、“SERVIS プロジェクト”は内容を変更しつつも民生品活用へのサポートの継続が必要であり、“宇宙太陽光発電・・・”プロジェクトは宇宙太陽光発電を実現するため長期継続が必要である。

“ハイパースペクトルセンサ HISUI” プロジェクトは一旦完了するため、これまで得たノウハウを生かして如何に日本の強みとするかの戦略が次のステップとなろう。

“オープン&フリー化” プロジェクトに関しては、衛星データ利用を促進することにより宇宙産業を発展させるという本来のアウトカムを達成するためには、Tellus のユーザーフレンドリーさ、他のジオコードド（geocoded：地図座標に関連付けられた）データとの統合利用、衛星データ活用事例研究、衛星データ利用ニーズの戦略的開拓などを継続的に推進する必要がある。

- (B 委員) 宇宙開発も一般的な産業に近づいてきている。リスクが高いものは引き続き国が支援すべきだが、その際に、それが民間資金の流入につながることで、および性能でなくスピードとして早いことに価値をおき、そのような研究開発の方向性を目指すことが望まれる。
- (C 委員) 他の技術アリーナとの相乗効果で社会実装における技術革新をはかり、市場を獲得する。
- (D 委員) 長期間継続的に取り組まれてきた課題に加えて、宇宙産業全体が大きく変化する現状に合わせて、広範囲且つ効果的に取り組まれていることを高く評価いたします。宇宙産業については、今後ますます、地上の産業を連携しつつ発展することが考えられ、取り組みの重要性はさらに高まると思います。こうした変化の中継続的な取り組みに加えて、宇宙での居住などの新しい分野についても、地上の生活関連・環境関連の産業との連携などについても検討されると良いのではないのでしょうか。
- (E 委員) アウトカム設定時に、市場動向調査などをもう少し詳しく実施をし、適切なアウトカム設定を行うべきと考える。

第3章 評価ワーキンググループの所見

中間評価（2021年度）

複数課題プログラム

所見

対処方針

研究開発課題（プロジェクト）

A. 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業（SERVISプロジェクト）

所見

対処方針

B. 石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発

所見

対処方針

C. 宇宙太陽光発電における無線送受電技術の高効率化に向けた研究開発

所見

対処方針

D. 政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利用環境整備事業

所見

対処方針

E. 衛星データ統合活用実証事業

所見

対処方針

中間評価（2018年度）

複数課題プログラム

所見

対処方針

＜事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性＞

・アウトプットとしては世界の中で優位性がある・各プロジェクトの事業アウトカムについては、
ので、それに続くアウトカムの明確化とアウトカ国内外の市場動向等を踏まえながら、適切なタイムの達成に向け道筋をつけて、宇宙産業を育成しミシングで見直しを行い、アウトカムの実現に向けて
て取り組むとともに宇宙産業の裾野拡大を図ってまいりたい。

＜複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等の妥当性＞

・経産省として超小型衛星の集団運営など、コン・小型衛星コンステレーションビジネスの支援に
ステレーションに素早く対応していくための支援については、社会情勢を考慮しながら、国の支援の
システムの構築が必要である。あり方を考えてまいりたい。

・エンジニアリング分野とは別に、サービス分野・サービス分野のアカデミアとの産学連携につ
のアカデミアとの産学連携を期待する。

ては、政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利用環境整備事業では、様々なデータ事業者やユーザーの意見を取り入れながら具体的な制度設計を行い、また、宇宙産業分野の人的基盤強化に向けた取組では、人材育成等の知見・経験を有する専門家等の意見を踏まえて、具体策の検討を行った。引き続き、宇宙関連産業の競争力強化に向け、様々な分野で産・学・官の連携を図ってまいりたい。

・現在はハードウェアの利活用という位置づけで、これまで宇宙機器の研究開発を重視してきた
あるが、今後、ビッグデータの高精細、大容量をが、近年の衛星データの「質」・「量」の抜本的進
活用していく応用分野にもっと大きくフォーカス展を背景に、第4次産業革命下におけるビッグデ
するプログラムの構成、内容に位置づけを見直す一環としてデータアプリケーションサ
サービスの発展についても目標に加えたところ。

・今後、長期にわたる研究開発よりも、短期間で、研究開発の実施期間については、事業の特性を
終了する研究開発をどんどん立ち上げていくとい踏まえながら効率的かつ効果的に設定してまいり
う方向だが、テーマにより短期間よりある程度のたい。今後は、宇宙利用産業の裾野を拡大してい
長期で1本にまとめたほうが効率的な場合もあくことで、宇宙機器産業の新たな需要を増やして
り、事業期間は慎重に考えていただきたい。いき、宇宙産業全体の活性化を目指してまいりたい。

研究開発課題（プロジェクト）

A. 石油資源を遠隔探知するための衛星利用技術の研究開発（終了時評価）
所見 対処方針

<研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性>

・被引用度数の調査を行い、終了後の産業発展に貢献することが望ましい。
・ASTER 事業における被引用度数の調査を行い、これまで 426 件の引用があったことを技術評価報告書に追記した。引き続き、事業成果が様々な分野で活用されるよう、利用促進に努めてまいりたい。

B 次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発
所見 対処方針
(コメントなし) —

C. 石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発（中間評価）
所見 対処方針

<事業アウトカムの妥当性>、<事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性>

・アウトカム指標として、資源探査をはじめとし、本事業は石油資源遠隔探知のためのハイパースペクトルセンサの研究開発を行うことを目的としており、その性質上、石油開発企業等によるデータの総利用シーン数をアウトカムとしているが、当該ハイパースペクトルセンサは石油資源分野のみならず金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋等、幅広い分野での利用が期待されることから、「データの利用促進に向けて、石油開発企業等による石油資源探査をはじめ様々な分野での利用シーン数や利用者登録数の向上を図る」旨をアウトカム指標に記載した。引き続き、ハイパースペクトルセンサの研究開発を継続し、その成果の活用が我が国宇宙産業の拡大に繋がるよう取り組んでまいりたい。

D 超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発
所見 対処方針

<事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性>

・海外競合メーカーに対する性能的優位性とセール・本事業におけるセールスポイントや知財の取扱スポイントをできるだけ定量的に報告書に明記すいについて整理し、技術評価報告書に反映したること。

<研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性>

・特許等の知財関係の取り扱いに関して技術評価報告書に明記すること。

E. 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業（SERVISプロジェクト）（中間評価）

所見

対処方針

<研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性>

・本事業で構築されたデータベースの整備、維持、活用に関して今後検討すること。

・超小型衛星搭載民生品データベースについては、中小・ベンチャー企業、大学等が無償で利用できる超小型・小型衛星分野の民生部品に関する共通基盤として、超小型衛星の製造に活用されるよう、引き続き周知等を行うとともに、効率的な運用を図る。

・他の業界等で作成されたガイドラインを必要に応じて参考にしながらガイドライン類の作成を検討すること。

・また、宇宙分野への参入支援の観点から、ガイドライン類の作成の際には、他業界の事例も参考にしつつ、効果的な内容となるよう検討してまいりたい。

F. 宇宙太陽光発電における無線送受電技術の高効率化に向けた研究開発（中間評価）

所見

対処方針

<研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性>

>

・他省庁で取り組んでいる取組を把握するとともに、必要に応じて連携しながら本事業を推進し、本事業の位置づけをできるだけ明確化すること。

・宇宙太陽光発電の研究開発については、文部科学省やJAXAと連携を図りながら、事業を推進している。引き続き、宇宙基本計画及びエネルギー基本計画に基づき、実現に必要な技術の開発を推進していく