

宇宙産業分野（複数課題プログラム）
技術評価報告書（中間評価）

平成 3 1 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。

- ① 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（昭和56年度から平成29年度）（終了時評価）
- ② 次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発（平成18年度から平成29年度）（終了時評価）
- ③ 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年度から平成33年度）（中間評価）
- ④ 超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発（平成23年度から平成29年度）（終了時評価）
- ⑤ 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年度から平成33年度）（中間評価）
- ⑥ 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年度から平成35年度）（中間評価）

なお、「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」及び「衛星データ統合活用実証事業」は平成30年度から開始した新規事業であり、また、「極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システム／次世代合成開口レーダ等の研究開発」は平成28年度に終了時評価が完了しており、今回のプロジェクト評価対象事業から除く。

今回の評価は、上記の宇宙産業分野（複数課題プログラム）及びこの構成要素である研究開発課題（プロジェクト）に関する評価であり、実際の評価に際しては、省外の有識者からなる平成30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 国立大学法人千葉大学 名誉教授）を開催した。

今般、当該検討会における検討結果が技術評価結果報告書の原案とし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：森 俊介 東京理科大学理工学部経営工学科教授）に付議され、内容を審議し、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。

平成31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	森 俊介	東京理科大学理工学部経営工学科教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所研究理事
	斉藤 栄子	VALUENEX 株式会社ソリューション事業推進本部本部長代理
	鈴木 潤	政策研究大学院大学教授
	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
	津川 若子	東京農工大学大学院工学研究院准教授
	西尾 好司	株式会社富士通総研経済研究所上席主任研究員
	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に関する事業評価検討会 委員名簿

座長	建石 隆太郎	国立大学法人千葉大学	名誉教授
	菊池 純一	青山学院大学	法学部・大学院法学研究科 教授
	木村 真一	学校法人東京理科大学	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	学校法人五島育英会	東京都市大学 工学部機械システム 工学科 准教授

(敬称略、座長除き五十音順)

事務局:経済産業省製造産業局宇宙産業室

宇宙産業プログラムに関する事業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 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

(平成27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

(平成23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

(平成20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 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

【終了時評価時】

(今回)

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

【中間評価時】

(平成27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

(平成23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

(平成20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19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 技術評価調査課長 本橋 克広

(平成16年度)

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

産業技術環境局 技術評価調査課長 陣山 繁紀

B 次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発

【終了時評価時】

(今回)

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

【中間評価時】

(平成27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

(平成23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

(平成20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

【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 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 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

(平成27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

(平成23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)

D 超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発

【終了時評価時】

(今回)

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

【中間評価時】

(平成27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

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)

【中間評価時】

(今回)

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

(平成27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

(平成23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)

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

【中間評価時】

(今回)

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

(平成27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)

(参考)

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

【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)

衛星データ統合活用実証事業

【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)

極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システムの研究開発／次世代合成開口レーダ等の研究開発

【終了時評価時】

(平成28年度)

製造産業局 宇宙産業室長 靄田 将範(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 竹上 嗣郎

【中間評価時】

(平成27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

(平成23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

(平成20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18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 技術評価調査課長 柴尾 浩朗

審議経過

◆平成30年度宇宙産業プログラムに関する事業評価検討会

第1回評価検討会（平成30年10月15日）

- ・研究開発評価に係る委員会等の公開について
- ・評価の方法等について
- ・プログラム・事業の実施状況について
- ・今後の評価の進め方について

第2回評価検討会（平成30年12月14日～12月28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

◆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（平成31年1月24日）

- ・技術評価報告書（案）について

目 次

はじめに

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

宇宙産業プログラムに関する事業評価検討会委員名簿

宇宙産業プログラムに関する事業評価に係る省内関係者

審議経過

目次

	ページ
第1章 宇宙産業分野における複数課題プログラムの概要及び評価	1
Ⅰ. 宇宙産業分野における複数課題プログラムの概要	
1. プログラムの概要	1
2. 各事業の概要及びアウトプット・アウトカム	5
3. 当省（国）が実施することの必要性	6
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	8
5. プログラムの実施・マネジメント体制等	8
6. 費用対効果	9
Ⅱ. 外部有識者（評価検討会）の複数課題プログラム全体評価	
1. 事業アウトカムの妥当性	11
2. 複数課題プログラムの内容及び事業アウトプットの妥当性	12
3. 当省（国）が実施することの必要性	13
4. 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	14
5. 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	15
6. 費用対効果の妥当性	16
7. 総合評価	17
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）の概要及び評価	
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）	
Ⅰ. 研究開発課題（プロジェクト）概要	18
1. 事業アウトカム	19
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	29
3. 当省（国）が実施することの必要性	61
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	63
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	64
6. 費用対効果	66
Ⅱ. 外部有識者（評価検討会等）の評価	68
1. 総合評価	68
Ⅲ. 評点法による評点結果	70
B 次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発（終了時評価）	
Ⅰ. 研究開発課題（プロジェクト）概要	71
1. 事業アウトカム	71
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	72
3. 当省（国）が実施することの必要性	92
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	92
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	93
6. 費用対効果	94
Ⅱ. 外部有識者（評価検討会等）の評価	96
1. 総合評価	96
Ⅲ. 評点法による評点結果	98
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）	
Ⅰ. 研究開発課題（プロジェクト）概要	99

1. 事業アウトカム	99
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	100
3. 当省（国）が実施することの必要性	121
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	122
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	126
6. 費用対効果	132
II. 外部有識者（評価検討会等）の評価	133
1. 総合評価	133
III. 評点法による評点結果	135
D 超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発（終了時評価）	
I. 研究開発課題（プロジェクト）概要	136
1. 事業アウトカム	136
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	137
3. 当省（国）が実施することの必要性	139
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	139
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	143
6. 費用対効果	144
II. 外部有識者（評価検討会等）の評価	146
1. 総合評価	146
III. 評点法による評点結果	148
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）	
I. 研究開発課題（プロジェクト）概要	149
1. 事業アウトカム	149
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	151
3. 当省（国）が実施することの必要性	156
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	156
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	158
6. 費用対効果	162
II. 外部有識者（評価検討会等）の評価	164
1. 総合評価	164
III. 評点法による評点結果	166
F 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（中間評価）	
I. 研究開発課題（プロジェクト）概要	167
1. 事業アウトカム	167
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	168
3. 当省（国）が実施することの必要性	170
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	171
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	171
6. 費用対効果	175
II. 外部有識者（評価検討会等）の評価	177
1. 総合評価	177
III. 評点法による評点結果	178
第3章 今後の研究開発の方向等に関する提言	179
第4章 産業構造審議会評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等	187

第1章 宇宙産業分野における複数課題プログラムの概要及び評価

I. 宇宙産業分野における複数課題プログラムの概要

1. プログラムの概要

複数課題プログラム名	宇宙産業プログラム
上位施策名	2-1 ものづくり
担当課室	経済産業省製造産業局宇宙産業室

宇宙産業プログラムの目的・概要

<複数課題プログラム全体>

(1) 現状と課題

宇宙産業は、世界的な成長産業であり、近年、衛星から得られるデータの「質」と「量」が大幅に向上するとともに、AI等の解析技術が進展することで、新たな宇宙産業の可能性が広がっている。また、衛星から得られたデータを地上から得られるデータと組み合わせ、ビッグデータの一部として解析することで、様々な課題解決につながるソリューションサービスを提供する可能性を秘めている。

一方で、我が国の宇宙機器産業の売上高は3,270億円(2016年)と長期的には近年漸増で推移しているものの、売上げのほとんどが官需依存(9割超(2016年))のため、需要拡大が不十分であること、企業の研究開発投資が不十分であること、海外市場での競争力が不十分であることといった複合要因による負の連鎖が生じている。

そこで、政府の技術開発や宇宙開発利用を戦略的に進め、外需・民需を獲得する宇宙産業の拡大につながる流れを作り出していくために、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・競争力強化に向けて取り組んでいる。

(2) 現状を踏まえた検討・主な実行施策

我が国の宇宙政策は、内閣府の宇宙開発戦略推進事務局を中心に、省庁横断的に推進しており、宇宙基本計画は、日本の宇宙開発利用の最も基礎となる計画として、宇宙基本法に基づいて策定されている。

経済産業省では、宇宙基本計画、エネルギー基本計画及び2017年5月に取りまとめられた「宇宙産業ビジョン2030」を踏まえ、関係府省と分担・協力しつつ、我が国宇宙産業の国際競争力の強化及び海外市場拡大に向けた取組を進めてきた。また、宇宙を利用する新たな市場の創出に向けた取組も進めてきた。

宇宙産業プログラムを構成する個々の研究開発課題(プロジェクト)については以下のとおりである。

【競争力ある宇宙機器や利用技術の開発】

①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(旧:石油資源遠隔探知技術の研究開発)

石油資源の確保に資するため、人工衛星により取得された地球観測データの処理・解析技術の研究開発を行う。

具体的には、資源探査用衛星センサ・高分解能画像(ASTER、ASNARO-1¹⁾)による衛星データについて、高度な処理・解析を施すアルゴリズム開発及び石油資源探査等への実証研究・事例蓄積を実施する。併せて、データの取得・処理・解析等を通じて、データの有用性を検証し、効率的な石油資源探査に有効な技術の研究開発を行う。

また、効率的な石油資源探査のため、地表面状況把握による適切なプランニングの検討や探査地域等のモニタリング等を行う。

¹ ASNARO1: 経済産業省による支援の下、2014年度に NEC が開発した地球観測光学衛星。

これらにより処理したデータを用いて、石油資源埋蔵の可能性のある地質構造及び岩相区分等を抽出技術により開発し、我が国における石油資源探査事業の効率化等に寄与する。

なお、衛星の利用拡大は、宇宙基本法及び宇宙基本計画の「宇宙開発利用」の趣旨に沿うものである。

②次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発

現在開発中のハイパースペクトルセンサは、ASTER センサ（※）に比べ、格段に解析能力が高く、鉱物種の特定制や土壌塩害の把握はじめ様々な分野において、強力なツールになると期待されている。

本事業では、国際宇宙ステーションに搭載した同センサからの観測（リモートセンシング）によって地質等を判別できるようスペクトルデータのデータベースを作成するとともに、データを処理・解析するソフトウェアを開発する。

リモートセンシングの利用拡大は、宇宙基本法及び宇宙基本計画で謳われている「開発から利用へ」の趣旨に沿うものであり、ひいては将来の成長が期待される宇宙産業の発展に寄与するものである。

（※）ASTER センサ

平成 11 年から運用している資源探査用光学センサ。現在、当初の設計寿命（5 年）を大幅に超える運用を行っている。今後、後継機に切り替えるための調整を実施していく予定。

③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（旧：ハイパースペクトルセンサ等の研究開発）

現在運用中の ASTER センサ（※）の 13 倍の光の波長の違いを識別する能力（スペクトル分解能）を持つハイパースペクトルセンサを開発し、世界に先駆けて宇宙実証を行う。

スペクトル分解能の向上により、宇宙空間から識別できる物質の種類が増え、より高い精度で地表に存在する物質を把握できるようになり、石油資源の遠隔探知能力の大幅な向上につながる。その他にも、効率的なパイプライン建設、周辺環境への影響評価（土壌汚染、水質汚濁）への活用が期待されるなど、我が国の資源開発の強力なツールになり得る。

衛星データの利用拡大は、宇宙基本法及び宇宙基本計画で謳われている「開発から利用へ」の趣旨に沿うものであり、ひいては将来の成長が期待される宇宙産業の発展に寄与するものである。

（※）経済産業省が開発した資源探査用センサ。平成 11 年から、当初の設計寿命（5 年）を大幅に超えて運用を行っている。

④超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発

現在、我が国の宇宙産業の国際競争力を強化するため、小型かつ高性能な地球観測衛星（レーダ衛星）「ASNARO2²」を開発。

また、本衛星の宇宙空間での適切な稼働を確認するために必要な、衛星の管制や衛星画像の処理を行うための地上システムを開発。

本事業を通じて、民間事業者が衛星の運用実績を積み重ねることで、衛星運用事業者の育成を図るもの。

同時に、衛星本体、地上システムの開発及び運用を一体的に行うことにより、民間事業者が国際市場への参入を目指す上で、衛星システムとしての売り込みを行うことが可能となる。

※Xバンド合成開口レーダ

波長が短い電磁波を用いて、画像情報を取得するレーダ。

⑤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)

我が国宇宙産業の国際競争力の強化には、人工衛星やロケットの抜本的な低コスト化とあわせて高機能化、短納期化を実現することが必要である。そのためには、自動車用部品など、我が国が有する他分野の優れた部品・技術を活用していくことが有効である。

² ASNARO2：経済産業省による支援の下、2017 年度に NEC が開発した地球観測レーダ衛星。

こうしたことを踏まえ、我が国が有する他分野の優れた技術等を活用して、低価格・高性能な宇宙用コンポーネント・部品を開発し、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 28 年 3 月策定の「宇宙用部品・コンポーネントに関する総合的な技術戦略」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。

さらに、これまで政府機関・宇宙機関・企業・大学等が個別に持っている他分野部品等の宇宙機器転用に関する情報を集約し、衛星等の低コスト化を促進する。

【グローバルな課題解決に資する宇宙技術の研究開発の推進】

⑥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（旧：太陽光発電無線送受電高効率化の研究開発）

宇宙太陽光発電システムは革新的なエネルギーとして、宇宙基本計画（平成 27 年 1 月宇宙開発戦略本部決定）及びエネルギー基本計画（平成 26 年 4 月閣議決定）において、中長期的に研究開発を進めることとされている。

本事業では、宇宙太陽光発電システムの実現に向けた重要な要素技術であるマイクロ波無線送電について、送受電効率の改善や送受電システムの薄型軽量化に向けた研究開発及び実証を行う。

また、宇宙太陽光発電システムの研究は長期に及ぶ取組となることから、中長期の研究開発のロードマップを作成する。

宇宙では昼夜・天候等にほとんど左右されることなく安定した量の太陽エネルギーを得ることができるため、本技術の実用化により、安定的に供給可能な新たな再生可能エネルギーの利用可能性が広がる。

【衛星データ利用の促進】

⑦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

昨今、技術革新や新規参入等を背景に、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る。こうした中、衛星データは単なる宇宙由来のデータではなく、ビッグデータの一部として様々なデータと組み合わせることで、農業、漁業、防災分野等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。

一方、政府が運用する地球観測衛星のデータは、産業ユーザーが利用可能なフォーマットでオープン化されておらず、また、衛星データの加工には高い専門性や高価な処理設備・ソフトウェアが要求されることから、その産業利用は限定的な状況に留まっている。

そのため、本事業では、政府衛星データのオープン＆フリー化を行うとともに、AI や画像解析用のソフトウェア等を活用したデータプラットフォームの開発を行う。これにより、民間企業や大学等が衛星データを利用しやすい環境整備を実現し、新規アプリケーション開発による新規ビジネス創出を促進する。

⑧衛星データ統合活用実証事業

これまでも衛星データを活用したアプリケーションが開発されてきたが、衛星データ単体では多面的な情報としては十分であるとは言い難く、開発したものがビジネスとして実用化されることは限定的だった。

昨今、IT 技術や AI の急速な発展により、多岐な分野に亘るビッグデータを統合して解析することで、新たなビジネスが出現しつつある。衛星データについても、その質・量ともに向上を続けており、ビッグデータ解析の重要な柱のひとつとしての活用が期待される。

そのため、新たなアプリケーションビジネスを創出すべく、衛星データと地上データを統合し、ビッグデータのひとつとして活用するアプリケーションの開発・実証を行う。また、アプリケーションの活用先としてユーザー官庁や自治体等との連携も図ることで、実用化も推進する。

【※】「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」及び「衛星データ統合活用実証事業」は平成 30 年度から開始した新規事業であり、また、「極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システム、次世代合成開口レーダ等の研究開発」は平成 28 年度に終了時

評価が完了しており、今回のプロジェクト評価対象事業から除く。

評価対象期間

平成 27 年度～平成 29 年度（3 年間）

＜宇宙産業プログラム全体＞の予算額等（委託・補助（補助率：10/10, 1/2, 2/3）（単位：百万円）

開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成 27 年度	未定	平成 30 年度	未定	民間団体等
H27FY 執行額	H28FY 執行額	H29FY 執行額	総執行額	総予算額
6, 748	3, 033	4, 807	14, 588	14, 755

2. 各事業の概要及びアウトプット・アウトカム

本プログラムは、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・競争力強化を目指している。そのため、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）で設定したアウトプット・アウトカムをプログラムとしてまとめることにある。

プロジェクト名 (研究開発課題)	研究開発内容	アウトプット指標	アウトカム指標
①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（旧：石油資源遠隔探知技術の研究開発）	我が国石油資源の安定供給確保及び宇宙産業の販路拡大の観点から、ASNARO 1 衛星及び ASTER センサの運用・利用技術の開発を行うもの	【ASTER】 ・衛星画像データの石油資源探査への利用技術の開発件数 ・衛星画像データの処理数・ユーザへの提供数 【ASNARO1】 ・石油資源探査における ASNARO-1 の画像データ提供件数（シーン数）	【ASTER】 ・生産した衛星画像データ及びその利用技術が石油資源探査等で利用された件数 ・量・質ともに世界最高クラスとなる衛星画像データの提供を通じた国際社会へ貢献 【ASNARO1】 ・石油開発企業の資源探査・開発等における衛星画像データを活用した事業件数
②次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発	ハイパースペクトルセンサから得られる衛星データの高度利用のための校正・処理アルゴリズム研究、観測計画策定研究、利用分野研究を行うもの	・HISUI データを想定した校正・補正処理手法の開発 ・観測効率の最大化を実現する観測計画策定手法の開発 ・事業アウトカムで挙げた7分野の利用技術開発及びハイパースペクトルセンサ・データの利用を支援するツールの開発 ・研究開発内容に係る論文及び学会の発表	・石油資源、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋の7分野での高度利用に関し、宇宙機に搭載したハイパースペクトルセンサを用いて実証 ・ハイパースペクトルデータの利用拡大に向けた研究公募の運用
③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（旧：ハイパースペクトルセンサ等の研究開発）	従来センサに比べ物質をよりきめ細かく特定可能となるスペクトル分解能（185 バンド）を有するハイパースペクトルセンサの開発・実証を通じて石油資源の安定供給確保への貢献を目指すもの	・新型ハイパースペクトルセンサの実用化に向けた技術の確立 ・本研究開発内容に係る論文又は学会における発表数	石油開発企業等によるデータの総利用シーン数（センサ打上げ後の実証フェーズ）、データ利用希望者による事前登録件数

④超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発	小型かつ高性能、低コスト、短納期の地球観測用レーダ衛星の開発を通じて我が国宇宙産業の国際競争力強化を図るもの	・超高分解能レーダセンサ（SAR）等の開発 ・高電力小型衛星バスの開発 ・国際競争力確保のための短納期衛星製造プロセスの確立	・我が国宇宙産業の国際競争力の強化
⑤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）	人工衛星やロケットの低コスト化を実現するため、我が国が有する他分野の優れた技術等を活用し、低価格・高性能な宇宙用部コンポーネント・部品の開発を行うもの	（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） ・民生部品、民生技術を活用した高性能な宇宙用コンポーネントの開発件数 （民生品を活用した宇宙機器の軌道上実証） ・民生品等を活用した機器の実用化に向けた要素技術の研究開発件数	民生品や他分野の部品・技術を活用した機器の実用化数
⑥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（旧：太陽光発電無線送受電高効率化の研究開発）	宇宙太陽光発電システムの実現に向け、重要な要素技術であるマイクロ波による無線送受電技術について、送受電効率の改善や薄型軽量化に関する研究開発を行うもの	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件数	受電部及び送電部の総合効率
⑦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	政府衛星データを原則無償解放するとともにユーザが使いやすいデータプラットフォームを整備することで民間企業による新たな宇宙ビジネスの創出を図るもの	プラットフォームへのユーザ登録件数、ユーザアクセス件数	宇宙利用産業の市場規模への貢献額
⑧衛星データ統合活用実証事業	衛星データと様々な地上データを統合活用した民間企業によるアプリケーションビジネス創出を促進するためのもの	アプリケーションの開発件数	宇宙利用産業の市場規模への貢献額

3. 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である。

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である。

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である。

また、技術革新を背景として衛星画像等の宇宙データの質・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、利用は限定的である。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である。

(参考) 宇宙基本法（平成20年法律第43号）（抜粋）

第4条（産業の振興）

宇宙開発利用は、宇宙開発利用の積極的かつ計画的な推進、宇宙開発利用に関する研究開発の成果の円滑な企業化等により、我が国の宇宙産業その他の産業の技術力及び国際競争力の強化をもたらし、もって我が国産業の振興に資するよう行われなければならない。

第8条（国の責務）

国は、第二条から前条までに定める宇宙開発利用に関する基本理念にのっとり、宇宙開発利用に関する総合的な施策を策定し、及び実施する責務を有する。

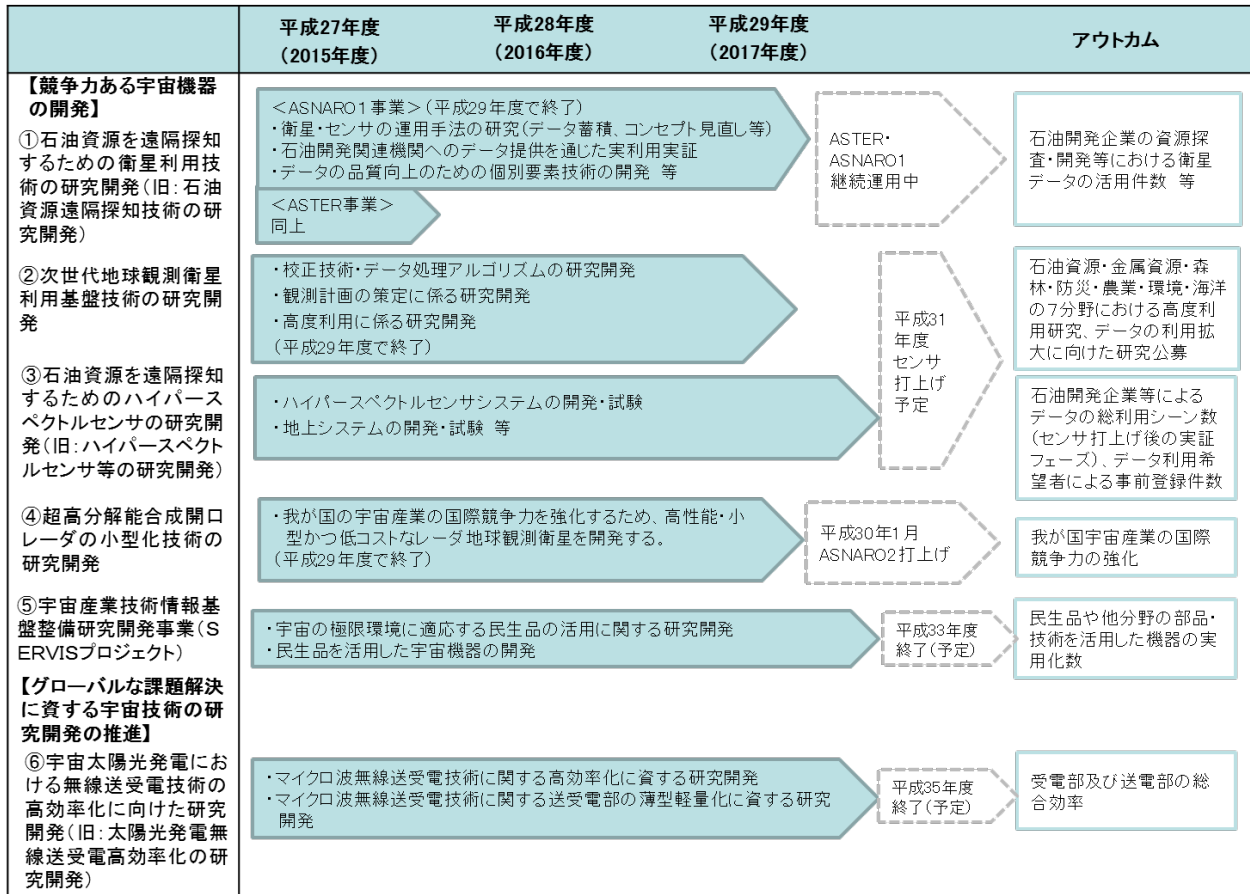
第16条（民間事業者による宇宙開発利用の促進）

国は、宇宙開発利用において民間が果たす役割の重要性にかんがみ、民間における宇宙開発利用に関する事業活動（研究開発を含む。）を促進し、我が国の宇宙産業その他の産業の技術力及び国際競争力の強化を図るため、自ら宇宙開発利用に係る事業を行うに際しては、民間事業者の能力を活用し、物品及び役務の調達を計画的に行うよう配慮するとともに、打上げ射場（ロケットの打上げを行う施設をいう。）、試験研究設備その他の設備及び施設等の整備、宇宙開発利用に関する研究開発の成果の民間事業者への移転の促進、民間における宇宙開発利用に関する研究開発の成果の企業化の促進、宇宙開発利用に関する事業への民間事業者による投資を容易にするための税制上及び金融上の措置その他の必要な施策を講ずるものとする。

第24条 政府は、宇宙開発利用に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため、宇宙開発利用に関する基本的な計画（宇宙基本計画）を作成しなければならない。

8 政府は、宇宙基本計画について、その実施に要する経費に関し必要な資金の確保を図るため、毎年度、国の財政の許す範囲内で、これを予算に計上する等その円滑な実施に必要な措置を講ずるよう努めなければならない。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

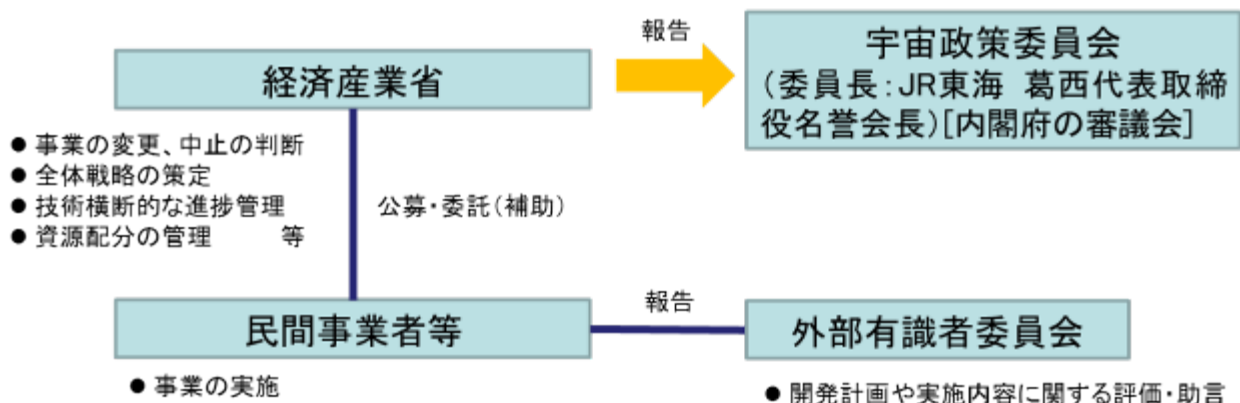


5. プログラムの実施・マネジメント体制等

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3回程度開催し、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。



6. 費用対効果

事業名	直近3年間の予算額（H27-29年度）	主な効果
①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（旧：石油資源遠隔探知技術の研究開発）	【ASRAR01】 ・ H27：3.3 億円 ・ H28：4.8 億円 ・ H29：4.8 億円 【ASTER】 ・ H27：3.1 億円	・ 石油資源探査の効率化 等 ※ASTER・PALSAR データ ³ を利用した解析により、計16件の権益獲得又は石油開発に繋がった。 ※なお、一般的には、費用削減効果の観点では、ある資源探査事業案件のケースで異なるものの、衛星データの利用を通じた探鉱探査の絞り込みによる効果は、1案件あたり数億円～数十億円程度 ・ 論文又は学会発表 449 件（ASTER 事業） ・ 特許等（出願含む） 2 件（ASTER 事業）
②次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発	・ H27：3.06 億円 ・ H28：3.06 億円 ・ H29：2.50 億円	・ 石油資源・金属資源等の高度利用分野の研究、学術的な成果による効果 等 ※論文又は学会発表 249 件、特許 2 件 ※この結果、例えば、海域におけるオイルスリック ⁴ のマッピング手法や鉱物種・塩分濃度に必要な吸収スペクトル位置の相関などが確立され、将来の HISUI ⁵ データの利用に貢献が期待。
③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（旧：ハイパースペクトルセンサ等の研究開発）	・ H27：8.75 億円 ・ H28：11.5 億円 ・ H29：11.5 億円	・ H31 年度に打上げ予定。H32 年度以降は実証を通じて衛星画像データのクオリティ担保に必要な運用手法の確立（校正・補正）により、石油資源開発関連会社等での活用拡大に貢献が期待。例えば、H33 年度まで 5400 件のデータ総利用数を予定。 ・ 論文又は学会発表 54 件、特許 2 件
④超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発	・ H27：5.0 億円 ・ H28：5.0 億円 ・ H29：24.7 億円	・ 衛星運用画像事業：3 年間で 50 億円の売上を目指す ・ 小型衛星パッケージ販売：1 パッケージあたり 100-150 億円の売上を目指す。 ※H30 年 1 月に ASRAR0-2 衛星がイプシロンロケット 3 号機により打ち上げ。現在、継続運用中。
⑤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）	【部品・コンポーネント】 ・ H27：0.81 億円 ・ H28：1.32 億円 ・ H29：1.80 億円	・ Li バッテリーは商用衛星の約 40%の世界シェア獲得し、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。 ・ 小型衛星に係る実証用部品・コンポーネント等の開発事業 論文 10 件 等
	【小型ロケット】 ・ H27：2.18 億円 ・ H28：2.18 億円 ・ H29：1.70 億円	・ 民生品等を活用したロケット用部品等の開発により、小型ロケット打上げサービスの競争力強化を実現することで、我が国事業者による小型衛星打上げ市場の獲得への貢献を目指す。 ・ 本研究開発により、民生品等を活用して低コスト化を図った小型ロケット SS-520 を H30 年 2 月に打ち上

³ PALSAR：Phased-Array type L-band Synthetic Aperture Radar の略。経済産業省と宇宙航空研究開発機構が共同で開発したフェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダで、我が国の ALOS 衛星に搭載され 2006 年 1 月に打ち上げられ、2011 年 5 月まで運用された。

⁴ オイルスリック：海底からの自然滲出油やタンカーの海難事故、人為的な油放棄等の原因によって海面に広がる油膜。表面は鏡面状となり、周辺海面とは異なる反射特性を示す。

⁵ HISUI：Hyperspectral Image SUite の略。経済産業省の下で開発中の、資源探査用として宇宙から地球を観測するハイパースペクトルセンサ及びセンサを搭載するペイロード等を含むシステム。

		げ、民生技術を活用して開発・製造した超小型衛星の軌道投入に成功。 ・本研究開発に基づき提出した論文は 12 件、特許出願は 2 件。
⑥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（旧：太陽光発電無線送受電高効率化の研究開発）	・ H27：2.5 億円 ・ H28：2.5 億円 ・ H29：2.5 億円	・ マイクロ波による無線送受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、受電部の総合効率が 42%から 54.9%に向上（目標値：50%）したほか、送電部の総合効率が 35%から 44%に向上見込み（目標値 40%、H30 年度中に測定）。 ・ 本研究開発に基づき提出した論文は 91 件、特許出願は 1 件。

Ⅱ. 外部有識者（評価検討会等）の複数課題プログラム全体評価

1. 事業アウトカムの妥当性

民生技術活用や小型衛星打ち上げなど、世界の潮流に合わせて、先導的に取り組んでいる点は評価できる。各研究開発課題（プロジェクト）の事業アウトカムの指標・目標値も、総合してみたときに日本経済にプラス効果を与えるものになっている。

一方で、世界の宇宙産業を取り巻く市場環境が不安定で不確実、かつ複雑で曖昧模糊な混沌とした状況にある。そのため、長期間の研究開発を通じたアウトカムが有効でなくなることが起きており、今後は短期間のアウトカムを設定し、長期間のものは、アウトカムそのものを柔軟に評価し直すことが必要である。また、現在の事業アウトカムの指標・目標値において、アウトプットと混同している事業が見受けられるので、社会情勢（市場動向）調査を踏まえて、適切な事業アウトカムを設定することが望ましい。

「宇宙産業ビジョン 2030」や宇宙二法が施行されるなど宇宙政策が転換期にあることから、宇宙産業の発展のためには、衛星・ロケット事業者と打上げ実施者間で柔軟に対応できる技術開発プログラムを構築する必要がある。そのためには、今後、新たなユーザーが利用しやすいものを検討し、それを実証していくことで、新たな衛星データの利用が創出されると思われる。

【肯定的所見】

- ・（A委員）評価対象のプログラムが起案された当時の政策スキームに基づくならば、アウトカムの設計は妥当であったと評価する。
- ・（B委員）宇宙開発だけにとどまらず、石油資源の遠隔探知などに代表されるその活用のシナリオまでを含めた広く宇宙産業を捉える宇宙利用全体を活性化していく考え方は高く評価できる。また、民生技術活用や小型衛星打ち上げなど、世界的な潮流に合わせて、適時にプロジェクトを設定して、先導的に取り組んでいる点は高く評価できる。
- ・（C委員）評価期間に時代にあった事業アウトカムが計画され、概ね適切に設定されていると評価できる。
- ・（D委員）個々の課題プログラムの事業アウトカムの指標・目標値は、総合してみたときに日本経済にプラス効果を与える目標となっており、妥当である。
- ・（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。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A委員）しかし、宇宙基本計画(2016)、宇宙産業ビジョン 2030(2017)、そして、宇宙二法が施行される政策環境下において、現行のプログラムは、必ずしも、妥当であるとは言えない。例えば、宇宙活動法 22 条は機器部品の飛散防止及び有害な汚染防止の仕組みを求めている。重要な技術課題であろう。単に、大気圏内の二酸化炭素排出の抑制削減を求めているわけではない。宇宙産業の発展は、宇宙空間と地上産業基盤との間にどのようなビジネスの構図をデザインするかに依存する。関係者間でナラティブな構想試案を組み立て、共有可能な技術開発プログラムを構築する必要がある。
- ・（B委員）技術開発のアウトカムとしては、技術的達成を越えて、様々なミッションにおいて活用されることを目指す必要があり、技術開発後の事業化に向けた取り組みについても継続する必要があると考えられる。また、宇宙利用の多様化によって、宇宙開発自体大きな転換点に来ていると思われ、これまでの宇宙開発にとらわれない新しい宇宙利用形態に対応していくことも必要と考えられる。
- ・（C委員）VUCA ワールドと言われる現在において、世界の宇宙産業の状況は目まぐるしく変化しており、長期間の研究開発を通じたアウトカムが有効でなくなることが起きている。そういった意味では、今後は短期間のアウトカムを設定するとともに、長期間のものは、アウトカムそのものを柔軟に評価し直すことが必要である。
今後は新たなユーザーの利用価値を模索し、それを実証していくことを通じて、これまでとは異なる観点での衛星データ利用を生み出すことをアウトカムとして設定することが望まれる。
- ・（D委員）経済産業省の資料「宇宙産業プログラムの実施状況の概要について」において、“・・・研究公募”をアウトカム指標としている例があるが、これは事業の中身であり、事業による効果・効用ではないため、より適切なアウトカム指標を設定することが望ましい。

事業者の資料において、一部の事業アウトカムの指標・目標値が事業アウトプットによる効果・効用でなく事業アウトプットそのものに近い内容になっている。

これと関連して、事業者の資料の中で、事業アウトカムの目標値・達成状況の欄に“事業アウトプットを達成”という表現が散見される。すなわち、事業アウトカム（事業の効果・効用）が十分に理解されていないと同時に事業アウトカムの評価の仕方も検討する必要がある。

- ・（E委員）各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。アウトカムの数値指標がアウトプット数値の達成であってはならない。

この原因としては、社会情勢（市場動向）調査が不足、もしくは深い分析まで至っていないことが原因であると思われる。幾らよい開発計画であっても、事業がなす成果がどのような効果を市場に創出するかを具体的に提示できなければ、事業者の利益にしかない。

中小事業者であれば、アウトカムについて深く分析・考察していくまでのリソースがない事も考えられるため、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。

2. 複数課題プログラムの内容及び事業アウトプットの妥当性

それぞれの研究開発課題（プロジェクト）において、技術的優位性の高い、優れた技術開発が実現されており、技術的成果は非常に高い。特に、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）は、現状にあった研究開発が計画され、事業アウトプットが設定されている。

今後、より一層宇宙産業の基盤を強化し、その裾野を拡大し、もって、国際競争力の強化を目指すのであれば、事業アウトプットの評価軸に国際比較の視点が必要。長期間の研究開発をそのまま維持するのは難しいので、世界の宇宙産業の動向を見ながら、ベンチマークを設定し、研究開発課題（プロジェクト）の内容を設定するなど、より活動の水準を示す適切な事業アウトプット指標を設定することが望ましい。

また、技術開発と同時にそこで見いだされた原理・手法等について、一般化することは、技術全体を高める上で重要。その意味で大学等の連携を活用するのも一つの可能性として考えられる。

【肯定的所見】

- ・（A委員）事業アウトプットは、おおむね、その事前計画の目標レベルを達成している。したがって、契約の範囲において、妥当なプロジェクトの運営が継続されていたと評価する。
- ・（B委員）それぞれのプロジェクトにおいて、技術的優位性の高い、優れた技術開発が実現されており、技術的成果は全てのプロジェクトにおいて非常に高いと判断できる。
- ・（C委員）評価期間におけるプログラムのアウトカムにあった形で、その事業プログラムの内容が適切に設定され、事業アウトプットが概ね適切に設定されていると評価できる。
特に、「宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業」では、現在の状況にあった研究開発が計画され、事業アウトプットが設定されている。
- ・（D委員）複数課題プログラム全体として、内容および事業アウトプットに問題がない。
- ・（E委員）各事業において、現状を理解し、必要十分なスペックを果たすために適切なアウトプットを設定している。

【問題あり・改善とする所見】

- ・（A委員）しかし、宇宙産業の基盤を強化し、その裾野を拡大し、もって、国際競争力の強化を目指すのであれば、事業アウトプットの評価軸には、国際比較の視点が必要であり、事業開始前の弱さをどのように克服できたか、さらに、強みをより一層増進することができたかを考慮すべきであろう。特許出願件数は、必ずしも、宇宙産業の戦略指標にはならない。登録できた特許権を保有することによって他国への抑止力を発揮できるのか、さらには、特許権の保有件数、主要国際学会への論文発表件数、及びビッグデータの情報量を背景にして、例えば、国際標準化においてリーダーシップを発揮できる人材基盤を確保できたのかを示す必要がある。
- ・（B委員）論文発表や特許出願などに関して、プロジェクトによって取り組みに温度差が感じられる。技術開発と同時にその技術開発において見いだされた原理・手法等について、一般化することは、技術を全体として高める上で重要であると考えられる。その意味で大学等の連携を活用す

るのも一つの可能性として考えられる。

- ・（Ｃ委員）VUCA ワールドと言われる現在において、世界の宇宙産業の状況は目まぐるしく変化しており、長期間の研究開発をそのまま維持するのが難しい。頻繁に世界状況を評価し、ベンチマークをきちんと設定した上で、事業プログラムの内容を設定することが必要である。

そのためには、短期間での宇宙実証の仕組みや、体制を目指していくことが必要である。

- ・（Ｄ委員）経済産業省の資料「宇宙産業プログラムの実施状況の概要について」において、論文学会発表数や研究者従事時間をアウトプット指標としている例があるが、これは活動の成果物ではないため、活動の水準を示すより適切なアウトプット指標を設定することが望ましい。
- ・（Ｅ委員）成果公開の指標について、特許や論文数などの指標の設定が適切でない事業が散見される。

一部の事業では、大学教員がプログラムのリーディングパーソンであることもあり、適切な論文数を設定されているが、他案件では特許案件に関する指標が示されないものもあり、改善が必要である。事業の戦略上の問題もあると思われるが、そうであれば、その理由を明確に示すべき。

３．当省（国）が実施することの必要性

全ての研究開発課題（プロジェクト）において、長期的・継続的に支援が必要な事業であり、国が実施することに疑いの余地はない。民間企業が開発していくには、昨今の社会情勢や高い事業リスクを鑑みると国の支援が必要不可欠。

我が国に必要な技術分野や技術的優位性の高い分野に集中して、宇宙関連の産業を誘導・牽引している点や、民生技術の活用や小型衛星の打ち上げなど、世界的な潮流に合わせて戦略的に取り組んでいるのも非常に高く評価できる。

一方で、近年、宇宙開発は大きな変革期にあるので、新たな宇宙利用の可能性や、これまで接点のなかった産業分野の技術の活用など、これまでの宇宙開発のあり方にとらわれない、より柔軟な対応が求められる。また、大手企業、中小・ベンチャー企業、両者の連合など、体制も考えた上で、複数のアプローチを積極的に混ぜて実施することが、現在の時代に合っており、成功の可能性を上げると考える。

宇宙産業は、世界的に見て非常に活発であり、今後、日本初の技術を将来のスタンダードにしていくならば、国が積極的に予算を確保し、補助事業を継続的に拡大していくことを期待する。

【肯定的所見】

- ・（Ａ委員）宇宙基本計画（2016）、宇宙産業ビジョン 2030（2017）に基づき、さらには、2018 年の日本版 SDGs アクションプログラムの内容（質の高いインフラの推進）からして、経済産業省の役割分担に基づくプログラムの実施は必要不可欠である。
- ・（Ｂ委員）我が国にとって必要な技術分野や技術的優位性の高い技術分野に集中して、宇宙関連の産業を誘導・牽引している点は非常に高く評価できる。民生技術の活用や小型衛星打ち上げ手段の確保など、世界的な潮流に合わせた戦略的な取り組みも高く評価できる。
- ・（Ｃ委員）国が実施すべきことを適切に実施しており妥当であると言える。
- ・（Ｄ委員）すべての課題プログラムにおいて、国が実施することの必要性が明確に認められる。
- ・（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。

民間のみが開発していくのは、昨今の社会情勢及び宇宙開発におけるハイリスクを鑑みると国による継続サポートが必要である。

また、衛星による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、継続取得・管理が必要であり、国が関与しデータの長期保全を担保する必要がある。

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。継続投資を行う事で、さらなる技術開発が進み、結果として卓越性が創出されるものであり、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。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（Ｂ委員）近年、宇宙開発は手法・アプリケーション・産業との関わり方など、全てにおいて大き

な変革を迎えつつある。新たな宇宙利用の可能性や、これまで接点のなかった産業分野の技術の活用など、これまでの宇宙開発のあり方にとらわれない、より柔軟な対応が求められると考えられる。

- ・(C委員) 大手企業が実施するのか、ベンチャーなどの中小企業が実施するのか、あるいはそれらの融合なのか、体制も考えた上で、複数のアプローチを積極的に混ぜて実施することが、この不確実な時代には成功の可能性をあげると考える。

大手企業に対しては、技術的に難しいことで、民間投資のしづらい場合に国が実施すべきである。新規センサの最初の開発や、民間ビジネスにつながらない災害対応などがこれにあたる。

ベンチャー企業等は、自社投資が困難であるため、既存センサの小型化、低コスト化などであっても、世界で戦っていくためには国が実施すべきである。

また、積極的に、ベンチャーと大手企業の連合など、国の関与なしでは日本では実現しづらいものを促進するのも国の役割として重要である。

- ・(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。

4. 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

宇宙産業プログラム全体としては、事業アウトカム達成に向けたシナリオが整理されており、その中の一部は実際に事業に結びついているものも見受けられることから、ロードマップは概ね妥当と考えられる。

一方で、研究開発課題（プロジェクト）では、政府の政策評価指針が変更されたことによる過渡的な問題も考えられるが、多くのロードマップで確度が低い。今後は、民間企業がユーザーなど外部との連携で試作品を開発する前段階に行う新しいアイデアの実証やデモンストレーション（Proof of Concept）の段階から、国が支援していくことが有効であり、それで確度が分かれば民間投資も進むものと思われる。

開発した技術を国内外で広く利用されるためには、国際標準化や知財管理など戦略的な取組が欠かせない。技術の実用化までではなく、さらに広範に活用されるための戦略についても積極的に検討する必要がある。

【肯定的所見】

- ・(B委員) 多くのプロジェクトで、アウトカム実現に向けたシナリオが整理されており、一部実際に事業に結びついているプロジェクトも見受けられる。総じて、事業アウトカム達成に対して戦略的に考えられていると判断できる。
- ・(C委員) 概ね妥当であると考ええる。
- ・(D委員) 複数課題プログラム全体として、ロードマップは適切に設定されている。
- ・(E委員) 実証や性能、安全などを網羅しつつ、規制緩和後の需要など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) 今回の中間評価対象プロジェクトの多くが、事業アウトカムの達成に至るまでのロードマップに関わる評価を行うための資料を用意できていない。政府の政策評価指針が変更されたことによる過渡的な問題ではあるが、早急に、NEDO や JST の他分野の事例を参照し、アウトカム・ロードマップのモデルケースを用意することが望ましい。少なくとも、矢印を多用した曖昧なロードマップを作る時代は終わっている。
- ・(B委員) 開発した技術が、国外においても広く利用されていくためには、国際標準化や知財管理など戦略的な取り組みが欠かせない。技術の実用化までではなくさらに広範に活用されるための戦略についても積極的に検討する必要があると考えられる。
またプロジェクトによって、若干実利用までの距離感に温度差があるように感じられる。
- ・(C委員) ロードマップの多くが「こうなったらいいな」というものであり、その確度が低い。宇宙太陽光発電のような長期にわたるものであれば仕方ないが、HISUI の利用などは、ユーザーに

模擬データを提供することでより確度高く、利用開拓は可能である。むしろそのような外部との連携 POC (Proof of Concept) が必要なところこそ、国が支援していくのが妥当であり、それで確度がわかれば、民間投資が可能となる。

- ・(D 委員) 事業者の資料の表記の問題として、考慮すべき“知財管理”、“国際標準化”、“安全性基準”などが記載されていない例が多い。
- ・(E 委員) 知財の管理については、全ての事業について、言及が乏しいと言わざるを得ない。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。事業の受託者が何故言及に及び腰になっているのか状況分析が必要であり、その結果によっては言及しやすい体制の構築も必要ではないかと考える。

5. 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

経済産業省のイニシアティブの下、複数の研究開発課題（プロジェクト）の進捗に大きな差はなく、適切に計画・立案を行い、研究者・開発者等が適切に配置されており、適切な実施体制が組まれている。特に、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）では、複数の異なる実施主体を選定したのは高く評価できる。

一方で、宇宙産業における新たなイノベーションの創出には、組織の目標達成に必要な能力の構築・向上といった観点から、従来の研究開発の実施体制に加えて、ユーザー側が新たなアイデアを創出できる場を構築していくことが必要である。

また、今後も複数の実施主体を選定していくことで、産業の広がりを作っていくことが宇宙産業の育成では必要。その中で、技術開発・研究において、まだ大学が果たせる役割があることから、今後、大学との役割分担についても積極的に検討されることを期待する。

研究開発課題（プロジェクト）の多くが着実に成果が上がっているにもかかわらず、国民への浸透が十分とは言えない。国民に広く浸透することで、新たな宇宙利用などの可能性が広がることがあるため、国民に対する周知・広報活動の拡充を期待する。

【肯定的所見】

- ・(B 委員) 経済産業省のイニシアティブの下、適切に計画立案を行い、研究者・開発者等が適切に配置されており、適切な実施体制が組まれていると判断できる。
- ・(C 委員) 妥当である。特に「宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業」では、大手企業・大学の連合と、ベンチャーという2つの異なる主体を選定し、実施しているのは高く評価できる。
- ・(D 委員) 現在の進め方で問題がない。
- ・(E 委員) 基本的には対象事業において、複数課題があってもその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。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A 委員) 現行プログラムの実施体制、マネジメント体制は、委託契約、請負契約に基づくことの制約を克服できていない。複数の組織による技術開発が連鎖する場合（技術インベンションの連鎖の場合）を組織することに加えて、価値実現の場を形成する組織機能がテコとなることにより、宇宙産業によるイノベーションが実現する。そのためには、専門人材によるキャパシティビルディングが必要になるだろう。
- ・(B 委員) プロジェクトの多くが、着実に成果が上がっており、産業にも結びついていることに対して、国民に浸透しているかという点必ずしも十分とはいえず、国民に広く浸透することで、新たな宇宙利用などの可能性も広がる期待がある。国民とのコミュニケーション活動については、より拡充することを期待したい。

また、技術開発・研究において、大学の果たしうる役割がまだあるように感じられ、今後大学との役割分担についても積極的に検討されることを期待したい。

- ・(C 委員) 今後も複数の主体を選定し、大手、ベンチャー、それらの融合体など、多様な主体を入れていくことで、産業の広がりを作っていくことが宇宙産業の育成では必要である。

- ・(E委員) 全ての課題において、周知・広報をし、広く理解を求めているかは、判断できない。また、ニーズ調査の点においても広く調査を行っているかどうかと同様である。これは、判断材料が提供されていない事に原因があり、その点の改善が望まれる。

また、一部事業においてアウトカムの設定がアウトプットの設定と混同されていると見受けられるところもあり、実施事業のアウトカムとは何かと言う事が不明確なために生じている問題であるとする。根本的に理解促進を図る必要が有る。

6. 費用対効果の妥当性

宇宙産業プログラムを構成する各研究開発課題(プロジェクト)は、投下された国費に見合った成果が着実に出ています。また、搭載機器開発などのプロジェクトの進捗状況に合わせて、全体として適切にリソースが配分され、限られたリソースの中で優れた技術開発を実現している点は高く評価できる。

一方で、近年、宇宙利用の多様化に伴い、関連する産業分野も大きく広がりにつつあり、広範な技術分野を適切に先導することで、日本の優位性を発揮することが期待される。こうした宇宙開発の広がりに適切に対応するためには、一層のリソースの拡充が必要不可欠。

また、事業アウトカムが達成される時期はプロジェクトによって異なるため、効果が見込まれる時期をより明確にした方がよい。加えて、今後、ベンチャー企業が挑戦できるような研究開発を進めていくことや、研究開発を実施しない取りまとめ者の必要性やコストに関する説明の明確化にも期待する。

【肯定的所見】

- ・(A委員) プログラムを構成する各プロジェクトの事業アウトプットは、投下された国費総額に対して妥当なレベルに達していると評価する。
- ・(B委員) 搭載機器開発などのプロジェクトの進行状況に合わせて、全体として適切にリソースが配分されていると判断できる。限られたリソースの中で優れた技術開発を実現している点は高く評価できる。
- ・(C委員) 概ね妥当である。特に「宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業」は費用対効果の高い研究開発であると言える。
- ・(D委員) 事業アウトカムの中で経済的効果は一般に見積もりの確度が低いため(一部は確度が高い)、現状の費用対効果が直ちに100%正しいとはいえないが、直近3年間の予算額が膨大ではないため、妥当と言える。
- ・(E委員) 実施に必要な人件費や研究開発費であり、投入コストに見合った成果が着実に出ているものと認識している。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A委員) しかし、事業アウトカムについては、すべてのプロジェクトではないが、その評価指標が明確ではないため、評価ができない。また、事業アウトカムを達成することを目的とするのであれば、プロジェクト期間内に、プログラム推進の新たな機能を配置する必要がある。そのためには追加予算が必要になるだろうが、予算配分に見合うアウトカム設計をすることは可能であろう。
- ・(B委員) 近年、宇宙利用の多様化に伴って、関連する産業分野も大きく広がりにつつあり、広範な技術分野を適切に先導することで、日本の優位性を発揮することが期待される。こうした宇宙開発の広がりに適切に対応するためには、一層のリソースの拡充が必要不可欠であると考えられ、リソース全体を拡充する努力を是非期待したい。
- ・(C委員) 「宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業」のように失敗するかもしれないが、それにベンチャーが挑戦できるような研究開発を今後も進めていくことが必要である。
- ・(D委員) 効果が得られる(すなわち事業アウトカムが達成される)時期は事業により異なる。したがって、効果が見込まれる時期(例: 事業終了後1年以内、3年以内、5年以内・・・)も事業者からの報告に含めた方がよい。
- ・(E委員) 「今後の研究開発の方向等に関する提言」の項目にて言及しているが、実際には研究を実施しない取りまとめ者のコストが見えてこない。その点については、何故受託者が取りまとめを行う必要が有るのか、またそのコストが如何ほどであるのかについての説明があると、国民目線

に立ったより良い説明になると思う。

7. 総合評価

国の上位計画に基づき宇宙産業の振興、国際的な市場確保を目指し、適切に宇宙機器開発と宇宙利用技術開発を進めている。宇宙利用は、技術開発だけでなくデータの利用まで踏み込んで、宇宙利用全体を活性化していく考え方は非常に高く評価できる。

また、民生技術活用や小型衛星打ち上げなど、世界の潮流に合わせて、適切に各研究開発課題（プロジェクト）を設定して、先導的に取り組んでいる点は高く評価できる。そのような点で、今回の評価対象ではないが、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も評価できる。

しかし、近年、宇宙開発は手法・アプリケーション・産業との関わり方など、これまでの宇宙開発のあり方にとらわれない、より柔軟な対応が求められている。また、宇宙政策全体でも宇宙基本計画(2016)をはじめ、大きく舵が切られて、宇宙産業に求められる役割も多様化しつつある。

今後、宇宙産業の拡大に向けて適切に対応するため、より一層のリソースの拡充や、プロジェクトの可能性を広げるための技術・学術的分野との連携、また、新規事業では宇宙産業を取りまく変化の早い状況を考慮しながら実施していく必要がある。

【肯定的所見】

- ・（A委員）現行プログラムを構成する各プロジェクトは、開始年度以前の政策スキームに影響されている。古い政策スキームの下では、妥当なプログラムであったと評価する。
- ・（B委員）宇宙利用を開発だけでなくデータの利用まで踏み込んで、宇宙利用全体を活性化していく考え方は非常に高く評価できる。また、民生技術活用や小型衛星打ち上げなど、世界的な潮流に合わせて、適時にプロジェクトを設定して、先導的に取り組んでいる点は高く評価できる。リソースは適切に配置されており、技術的成果は非常に高く、適切にリソースが活用されていると評価できる。
- ・（C委員）今回の評価期間を考えると、事業プログラム全体として妥当であるとする。また、近年の大きく変化した宇宙産業を取り巻く状況を考えると、「宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業」は、その変化をいち早く捉えて進めているものであると評価できる。また、今回の評価対象ではないが、衛星データ活用のオープン＆フリー事業もその変化をいち早く捉えている。
- ・（D委員）国の上位計画に基づき宇宙産業の振興、国際的な市場確保を目指し、適切に宇宙機器開発と宇宙利用技術開発を進めていると認められる。
- ・（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。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A委員）しかし、宇宙政策スキームは、宇宙基本計画(2016)を見ても、大きくその舵を切ったと言える。宇宙産業に求められる役割は多様化しつつある。その多様化の出口方向を構図（アウトカム体系を構図）した上で、現行プログラムを再設計すべきであろう。
- ・（B委員）近年、宇宙開発は手法・アプリケーション・産業との関わり方など、全てにおいて大きな変革を迎えつつある。新たな宇宙利用の可能性や、これまで接点のなかった産業分野の技術の活用など、これまでの宇宙開発のあり方にとらわれない、より柔軟な対応が求められると考えられる。こうした宇宙開発の広がりに適切に対応するためには、一層のリソースの拡充が必要不可欠であると考えられ、リソース全体を拡充する努力を是非期待したい。

また、プロジェクトと、技術・学術的分野との連携によって、プロジェクトの可能性を一層広げることが期待することが出来る。その意味で大学等との連携のあり方についてより拡充されるとよりよいのではないかと考える。

- ・（C委員）これから始める事業は、この新しい状況を捉え行くとともに、変化の早い宇宙産業を取り巻く状況を考えて実施する必要がある。
- ・（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、大きな問題ではない。

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。

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）の概要及び評価

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）

I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

プロジェクト名	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（旧：石油資源遠隔探知技術の研究開発）			
行政事業レビューとの関係	平成 29 年度行政事業レビューシート（事業番号 0158）			
上位施策名	①日本再興戦略 2016（平成 28 年 6 月 2 日閣議決定） ②産業構造ビジョン 2010（平成 22 年 6 月 3 日産業構造審議会産業競争力部会報告書） ③宇宙基本計画（平成 28 年 4 月 1 日閣議決定） ④エネルギー基本計画（平成 26 年 4 月 11 日閣議決定）			
担当課室	経済産業省製造産業局宇宙産業室			
プロジェクトの目的・概要				
(1) ASTER				
人工衛星から取得される画像データを用いて、石油資源探鉱の効率化、権益確保のための事前情報取得など、石油資源の安定供給確保に貢献できる衛星画像データ利用技術開発を行う。				
また、品質が保証された衛星画像データをユーザに対して安定的に提供を行うため、ASTER 及び PALSAR データの品質管理および地上システムの安定的な運用を行う。				
(2) ASNARO-1				
＜目的＞				
これまでに開発した実証人工衛星等（ASTER、ASNARO-1 等）を用いて、石油資源探査に資する情報を効率的に得る技術の実証研究開発を行い、石油資源埋蔵の可能性のある地質構造及び岩相区分等のより効率的な抽出を可能にし、我が国における石油資源探査事業の効率化等を図る。				
＜概要＞				
軌道上での実証のためのセンサや人工衛星（ASTER、ASNARO-1 等）を運用して各種の画像データを試験的に取得するとともに、そのデータを高度かつ自動的に処理・解析する技術等を開発し、石油資源探査への有用性の検証など、実証研究・事例蓄積を進める。あわせて、複数の資源探査衛星を統合的に運用するシステムの実証等を行う。				
予算額等（委託）				
(単位：百万円)				
開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
昭和 56 年度	平成 29 年度	平成 27 年度	平成 30 年度	(一財) 宇宙システム開発利用推進機構、(独) 産業技術総合研究所 (AIST)、(株) パスコ
H27FY 執行額	H28FY 執行額	H29FY 執行額	総執行額	総予算額※
636	480	360	69,292	73,119
※平成 29 年度までの総予算額(うち直近 3 年間の予算額) ASTER:718.3 億円(うち H27FY:3.1 億円)、ASNARO1:12.9 億円(うち H27FY:3.3 億円、H28FY:4.8 億円、H29FY:4.8 億円)				

1. 事業アウトカム

(1) ASTER

事業アウトカム指標		
石油資源の安定供給確保等に貢献するため以下について達成することをアウトカムとする。 ①本事業において生産した衛星画像データ、および合わせて開発した衛星画像データの利用技術が石油資源探査等において利用される。 ②量・質ともに世界最高クラスとなる衛星画像データの提供を通じて、国際社会へ貢献するとともに、日本の技術力を示す。		
指標目標値		
事業開始時	計画：事業アウトプット指標を達成する。	実績：－
中間評価時	計画：事業アウトプット指標を達成する。	実績：－
終了時評価時	計画：事業アウトプット指標を達成する。 加えて以下を達成する。 ①生産した衛星画像データおよびその利用技術が石油資源探査等において利用される。 ②量・質ともに世界最高クラスとなる衛星画像データの提供を通じて、国際社会へ貢献する。	実績：合計 16 件の石油資源探査案件において利用された。 量・質ともに世界最高クラスとなる衛星画像データの提供し、石油資源探査以外にも広く利用され、国内外の社会貢献に繋がった。
目標最終年度 (平成 29 年度)	計画：①衛星画像データおよびその利用技術が継続して利用され、石油資源探査等に貢献する。 ②衛星画像データの継続的な提供を通じて、国際社会へ貢献する。	

I. 事業アウトカム達成状況

詳細① 生産した衛星画像データおよびその利用技術が石油資源探査等において利用される。

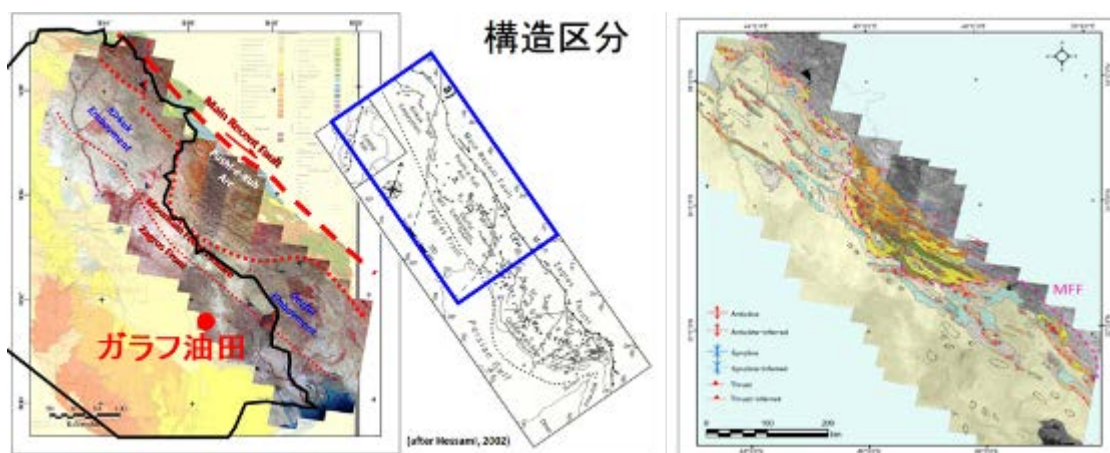
平成 27 年度は、石油開発企業等の 3 件の資源探査・開発案件にて（目標値 2 件）、ASTER 及び PALSAR データが活用された。

ASTER 及び PALSAR データを利用した解析により、7 件が油ガス田開発に、2 件が開発計画の策定に、7 件が鉱区取得に繋がった。

【油ガス田開発につながった事例】

未開発の巨大油田開発有望地でありながら、現地調査のできないイラクの鉱区入札に備え、ASTER・PALSAR データを使用して広域かつ詳細な地質解析を行った。

鉱区を含む広域における地質構造の推定および最新の地表状況把握が生産設備配置等の開発計画に貢献し、ガラフ油田は平成 25 年 9 月生産開始に至った。



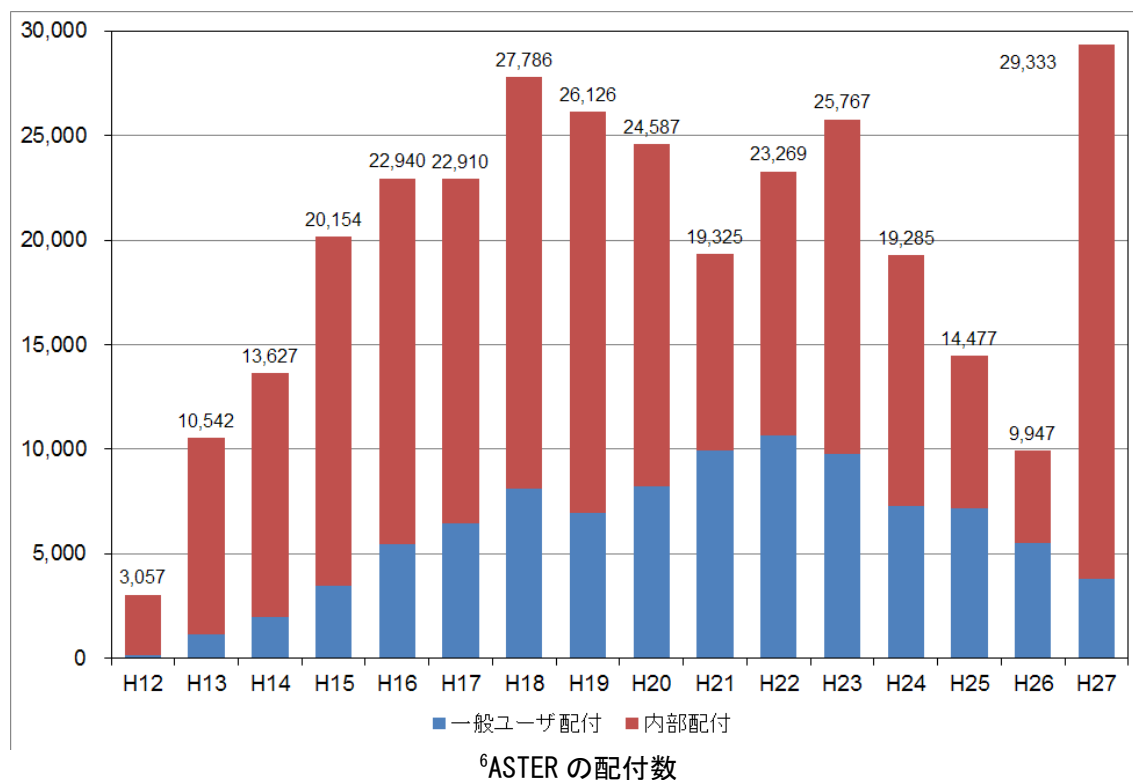
石油資源開発に貢献したイラクの地質詳細解析

石油資源探査以外の分野（金属資源・環境・防災等）についても、データの実利用がされている。

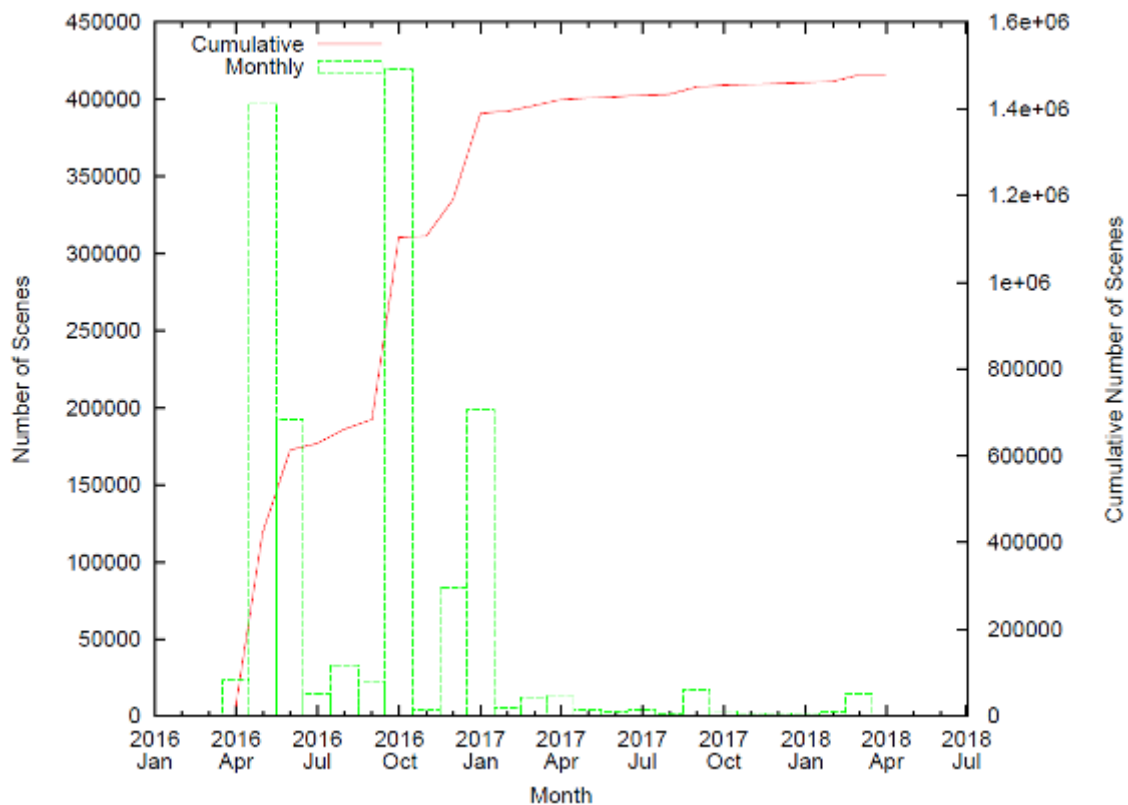
特に、金属資源探査分野においては、これまでに 20 案件以上の事例において鉱区取得や探鉱に繋がった。

II. 事業アウトカム達成状況詳細② 量・質ともに世界最高クラスとなる衛星画像データの提供を通じて、国際社会へ貢献する。

ASTER データについては 10 万シーンを一般に、20 万シーンを内部向けに配付した。事業終了後は 150 万シーンを配付している。

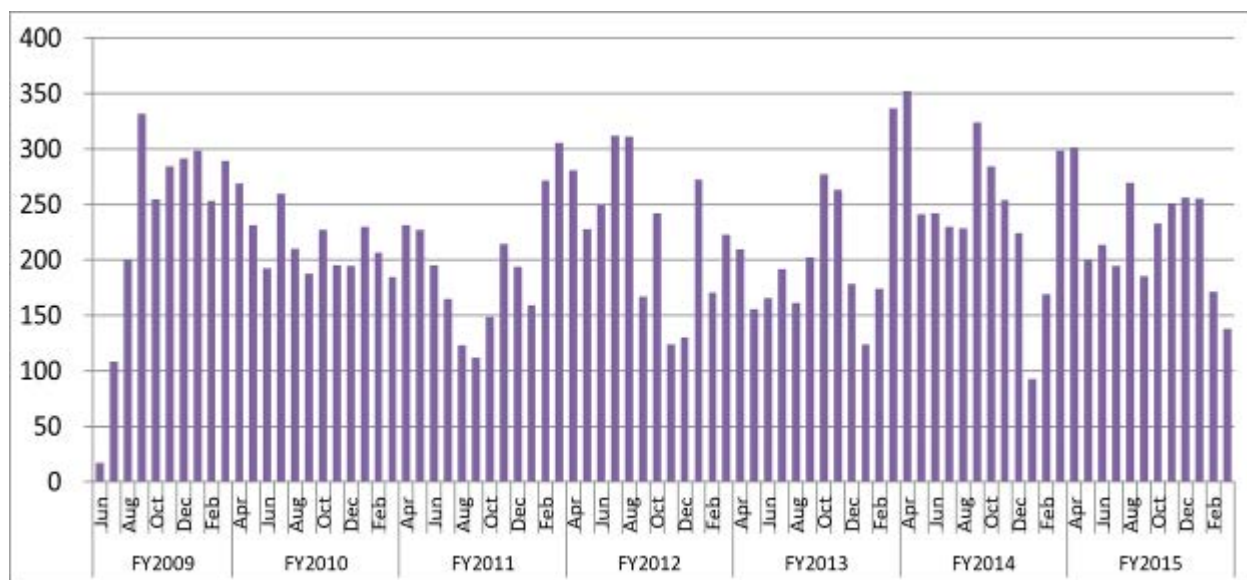


⁶ 一般ユーザ配付：ASTER データのユーザへの一般配付
内部配付：ASTER の校正検証や GDEM 作成のための配付



ASTER の配付数（事業終了後）

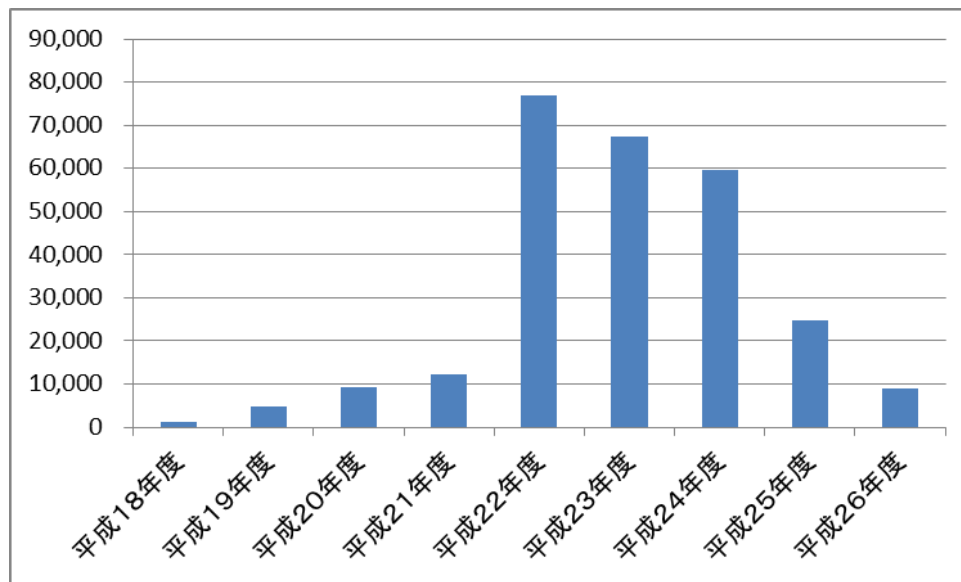
ASTER GDEM⁷は、バージョン 1 と 2 を合わせて累計 1800 万タイルを配付した。（1 タイルは 1 緯度 × 1 経度の区画）



ASTER GDEM の配付数

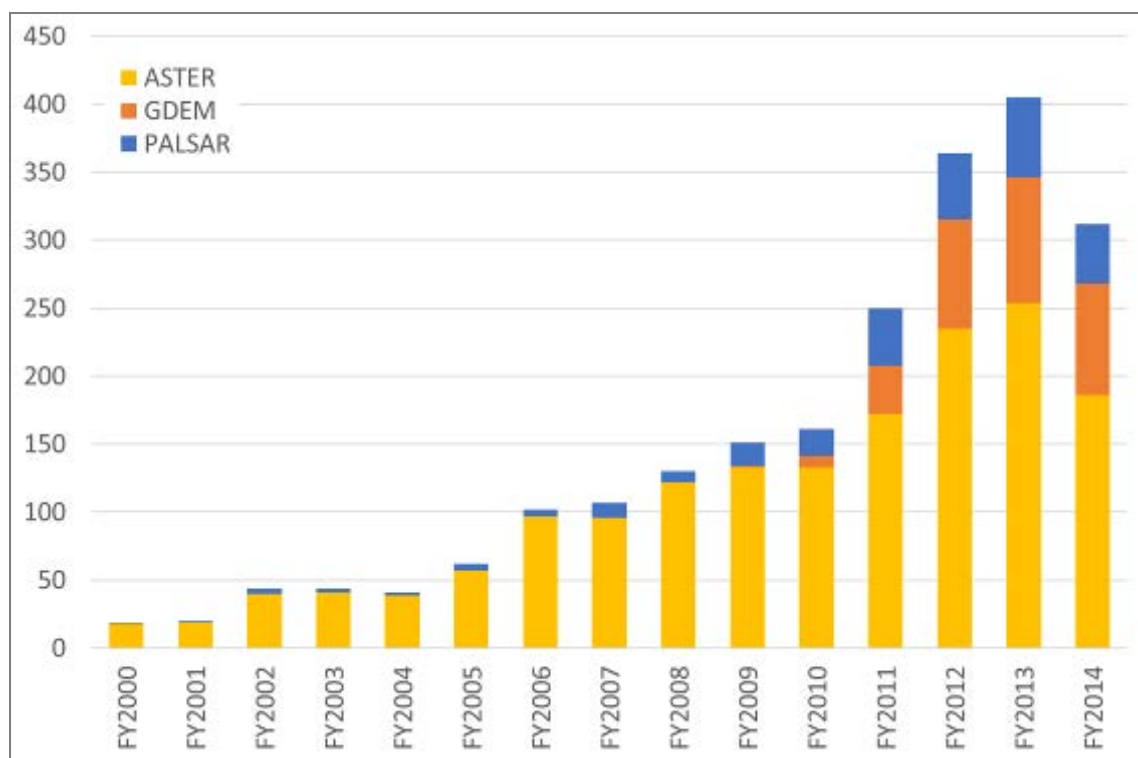
PALSAR データは合計シーン配付した。

⁷ ASTER GDEM：経済産業省と米国航空宇宙局が共同で整備している ASTER のステレオ画像データから作成した全球 3 次元地形データ。



PALSAR の配付数

ASTER および PALSAR に関する研究論文件数について、Science Direct により論文を検索し、検索結果を整理した。その結果、ASTER・PALSAR に関連した論文発表の掲載数は事業終了時点で 300 件／年を超えており、これらのデータが学術的に多く貢献をしていることが明らかとなった。



ASTER および PALSAR に関する研究論文件数

(2) ASNARO-1

事業アウトカム指標

【成果目標】

本事業は、石油ガス探査に係る実利用を想定して ASNARO-1 衛星を実証運用し、運用方法の確立について研究開発を行うことを目的とする。

効率的な運用を実施し、ユーザに対して十分な品質・精度を有するデータを遅延なく、かつ長期継

続的に提供することで、石油開発企業等が資源探査・開発において、毎年度2件以上の事業に衛星画像データを活用することを目指す。

【事業アウトカム指標】

衛星画像データを活用した件数とする。

指標目標値		
事業開始時（平成27年度）	計画（目標値）：2件	実績：3件のプロジェクトについて、対象地域の画像撮像を行い、被雲率50%以下の画像について提供を行った。 また、画像提供のフィードバックとして、画像を事業に利用するうえでの課題等があげられた。
中間評価時（平成28年度）	計画（目標値）：2件	実績：4件のプロジェクトについて、対象地域の画像撮像を行い、被雲率50%以下の画像について提供を行った。 また、画像のさらなる利活用について、検討を行うとともに、1年目の課題の対応策を検討した。
終了時評価時（平成29年度）	計画（目標値）：2件	実績：2件のプロジェクトについて、対象地域の画像撮像を行い、被雲率50%以下の画像について提供を行った。 オイルスリック判別のための海域の画像については、繰り返し撮像を実施した。
目標最終年度（平成29年度）	計画：同上	

ASNARO-1衛星は、我が国の宇宙産業強化を目的として、「産業技術研究開発（小型化等による先進的宇宙システムの研究開発）」において開発された高性能小型地球観測衛星である。2014年11月に打ち上げられてから、軌道上の校正検証と実証運用が継続的に行われており、これらの成果を我が国の宇宙産業強化に着実につなげていくための技術開発が行われてきた。

本事業は、衛星運用の効率化とASNARO-1衛星画像データの高付加価値化に関する研究開発を行うとともに、衛星画像データが石油資源探査に活用されることを目的とし、アウトカム指標としては衛星画像データを活用した件数とする。またアウトカム指標を達成するためのアウトプット指標として画像提供数を、利用技術開発としてオルソプロダクト⁸、DSM⁹、モザイクプロダクト¹⁰の生成と検証を設定する。本事業による高解像度衛星リモートセンシング技術の高度化は、石油資源探査の効率化に寄与することが期待される。

I. ASNARO-1衛星画像の利用

石油探鉱の対象地は、開発途上国で交通手段の少ない地域や、紛争国にあって立入が困難な地域であることが多い。特に紛争地では航空写真撮像のための飛行許可を得ることが難しく、紛争地以外にも国境付近での航空機の飛行は制限されることが多い。こういった地域において高解像度画像を得ようとする、撮像手段は高解像度人工衛星に頼らざるを得ない。本業務では表2.1-1のとおり、4つのプロジェクトに画像の提供を実施した。撮像対象地域の状況および画像の利用目的をあわせて表2.1-1に示す。

⁸ オルソプロダクト：衛星画像データを正射投影に変換した製品。

⁹ DSM：Digital Surface Modelの略。数値表面モデル。一般に、植生や建築物などを含めた地球表面の数値標高モデルで、DEM（Digital Elevation Model）と同じ。DTM（Digital Terrain Model）が、植生や建築物などを取り除いた地表そのもののモデルと区別される。

¹⁰ モザイクプロダクト：隣接する複数の画像をつなぎ合わせ広域をカバーした画像製品。

表 2.1-1 対象プロジェクトごとの画像利用目的

プロジェクト	画像利用目的	詳細
A (H27～H28)	インフラ未整備 地域の状況把握	インフラ未開発の地域で現状の地形図等が準備されていない。 現地調査に行く際の情報が少ない。
B (H27～H28)	紛争地域の 状況把握	紛争地域のため、調査立ち入りが困難である。 紛争地域のため、地図情報があっても経年変化があり 現状の把握が困難である。
C (H27～H29)	雨期が長い 地域の状況把握	天候が悪く測量機会が少ないため現状の地形図等が準備されていない。現地調査に行く際の情報が少ない。
D (H28～H29)	海域の 状況把握	海域のため調査が難しい。 オイルスリックの確認のためには、同一地点を複数回撮像する必要がある。

2.2 広域マップ整備

石油資源探査関連機関のニーズを踏まえ、地域特性の異なる4プロジェクト（表 2.1-1 参照）について撮像し、石油資源探査関連機関に提供した。また、インフラ未開発地域における地形図作成の実証としてパイプラインマップを試作した。

2.2.1 地域特性別の撮像実証（平成 27 年度、28 年度、29 年度）

プロダクト利用者として想定した石油資源探査関連機関のニーズを整理し、対象地域を設定して撮像を実施した。撮像計画においては、雲が発生しやすい地域であることや、オイルスリックのように繰り返し撮像が必須の地域であることなどを考慮した撮像優先順位を設定し、石油資源探査に有効な画像データをより多く取得するように配慮した。また、撮像した画像データには雲が含まれる場合があるが、雲がある画像であっても有効利用できる可能性を踏まえ、被雲率が約 50%以下のプロダクトを石油資源探査関連機関に提供した。

2.2.1 (1) 撮像進捗報告方法の検討

画像データ提供の際には、撮像計画に対する進捗を示す資料を併せて提供し、定期的な進捗報告を行った。その提供資料の例を図 2.2.1-1 に示す。また、石油資源探査に有効な情報が提供画像の中に含まれていると考えられる場合は、進捗報告の際にその情報を提示して意見交換を行った。

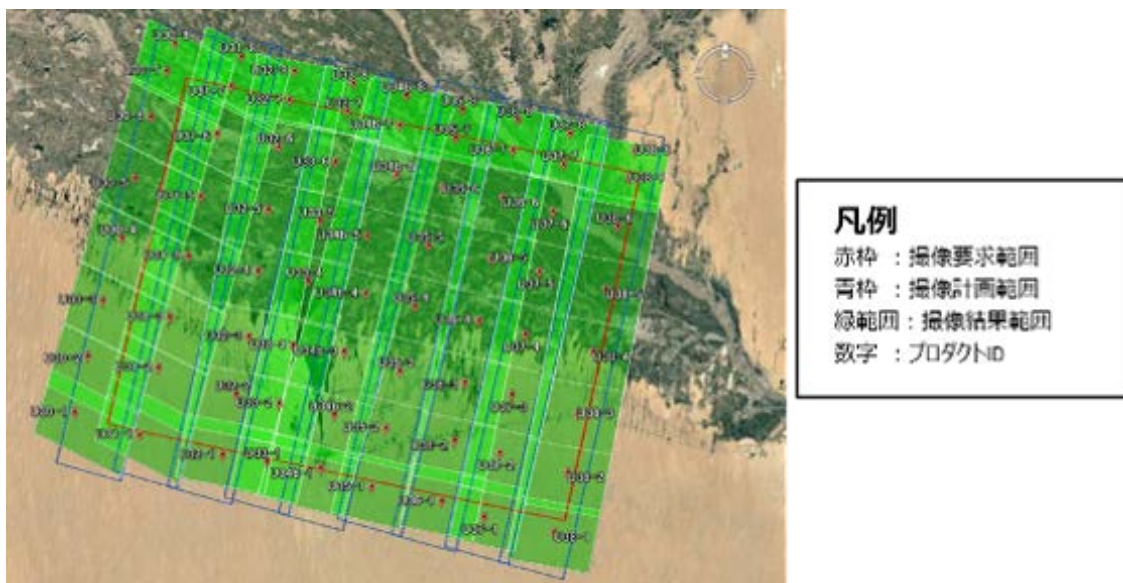


図 2.2.1-1 撮像進捗を示す提供資料の例

2.2.2 (2) 繰り返し撮像計画の検討と実証

海洋において、海底に油田が存在するとその地点から油が滲出し、海面にオイルスリック（油膜）が形成されることがある。オイルスリックの位置は風や海流の向きによって時間的に変動するため、油の滲出地点を特定するためには異なる日時に繰り返し撮像した画像を解析する必要がある。そこで、2016年9月～2017年6月におけるプロジェクトDの撮像データからオイルスリックと思われる帯状の筋が確認された地点（図2.2.2-1参照）の周辺6地点を選定し、繰り返し撮像を行った。繰り返し撮像地点を図2.2.2-2に示す。

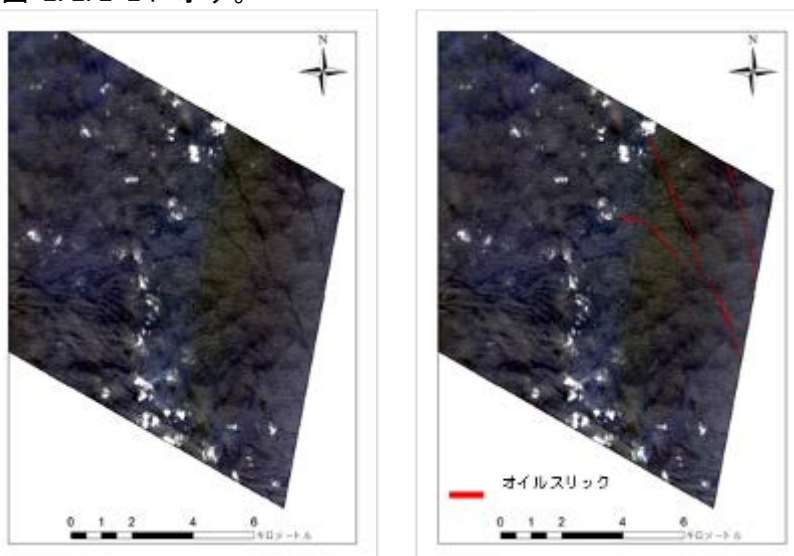


図 2.2.2-1 プロジェクトDの沿岸において確認したオイルスリック
(左：バンド4:3:2、右：オイルスリック抽出結果)

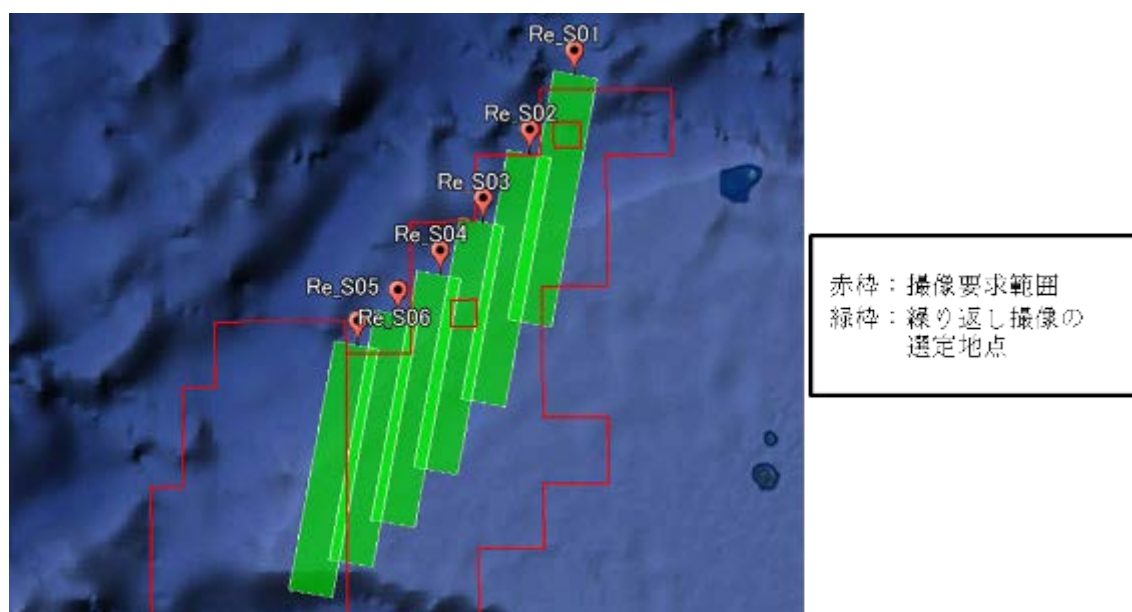


図 2.2.2-2 繰り返し撮像地点

また、繰り返し撮像の実績を表2.2.2-1に示す。プロジェクトDについては他の衛星を含め、画像データの整備が進んでおらず、特に沿岸域に関しては石油資源探査に必要な情報が乏しい状況であった。本取り組みにおいては、石油資源探査関連機関が特に関心を持っている地点とその周辺の画像データを取得できたとともに、オイルスリックと思われる帯状の筋が確認された地点の画像データを提供することができた。

一般的にオイルスリックの撮像には SAR 衛星が利用されることが多いが、高頻度撮影が可能な ASHRO-1 衛星においてもオイルスリックを抽出できる可能性があることが示唆された。

表 2.2.2-1 繰り返し撮像実績の内訳（2017 年 12 月 14 日時点）

撮像地点 ID	2017 年									合計
	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
Re_S01	－	－	2	2	2	0	1	1	0	8
Re_S02	－	－	1	0	1	0	1	0	0	3
Re_S03	－	－	1	3	2	1	2	1	0	10
Re_S04	－	－	1	3	1	2	0	0	0	7
Re_S05	－	－	2	3	1	1	0	0	0	7
Re_S06	－	－	1	1	0	0	1	0	0	3

海域の撮像においては、撮像時の撮像ポインティング角や太陽位置によってサンスポット等が生じ、画像の見え方が大きく異なることがある。同じ地点を繰り返し撮像してそれらの画像を比較する場合、見え方が異なる画像の時系列データセットは判読の障害となる。そのため、できる限り同じような条件で撮像する必要があるが、撮像条件に太陽位置等の情報を加味することは、計画策定が煩雑になり非効率的である。従って、太陽位置等条件を含めた撮像計画を効率的に行う手法の検討や手法を確立することが今後の取り組むべき事項として挙げられる。

2.2.2 パイプラインマップの試作（平成 28 年度）

道路、港湾、パイプライン等の既存インフラに関する情報は、探鉱段階から開発段階へ移行する際の経済性評価に大きな役割を果たすものである。国内においては、一般財団法人石油開発情報センターが海外の石油・天然ガスの探鉱・開発に関する様々な情報を提供しており、そのなかでも既存インフラに関しては、IHS 社が提供する IRIS21（International Relational Information System 21）のデータベース利用のサポート事業を実施している。IRIS21 は石油や天然ガスの探鉱、開発、生産等に関するデータベースであり、IHS 社が長年に亘り収集・蓄積したデータをユーザが検索・出力することができる Web サービスと GIS が用意されている。IRIS21 には約 3 万件を超える油・ガス田情報や約 60 万件を超える坑井情報等が蓄積されており、その範囲は米国とカナダを除く約 180 ヶ国に及んでいる。このように、既存インフラに関わる情報提供の有償サービスが成立しており、ASNARO-1 衛星による同種情報の整備には市場性があるものと考えられる。

2.2.2 (1) 長挟物の撮像計画の検討と実証

海外のパイプラインには延長が数千 km に及ぶものも数多くあり、地上調査によって全体を把握することは困難である。また、衛星で調査する場合でも対象が広域に亘ることから、なるべく短期間で効率良く撮像することが望まれる。そこで、図 2.2.2-1 に示す延長約 102km のパイプラインを対象に撮像シミュレーションを実施し、ASNARO-1 によるパイプラインの効率的撮像方法について実証した。

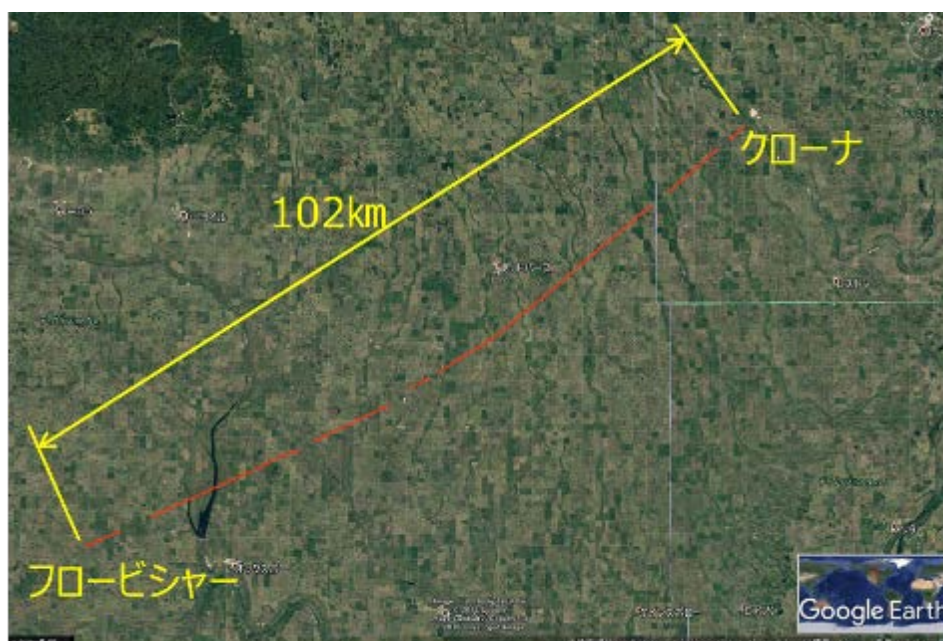


図 2.2.2-2 シミュレーション対象地（カナダ：クローナ～フロービシャー間）

また、スナップショットモードによる撮像シミュレーション結果のフットプリントを図 2.2.2-3 に、撮像回数を表 2.2.2-2 に示す。ここで入射角条件を 30° に制限した場合の撮像日数は 13 日となった。入射角条件を 45° に設定すると、入射角条件 30° よりも撮像機会が増えることから、撮像日数が 13 日から 8 日に短縮することができた。

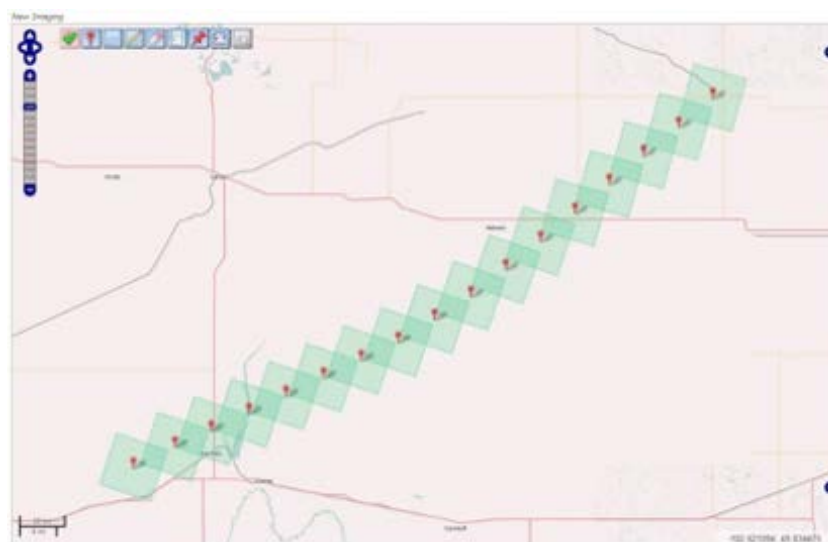


図 2.2.2-4 スナップショットモード撮像のフットプリント

表 2.2.2-3 スナップショットモード撮像によるシミュレーション結果

撮像入射角	30°	45°
撮像回数	17 回	17 回
撮像日数	13 日間	8 日間

次にスキューショットモードによる撮像シミュレーション結果のフットプリントを図 2.2.2-5 に、スナップショットモードと比較した撮像回数を表 2.2.2-4 に示す。ここで、スキューショットモードの撮像回数は 2 回となり、入射角条件 45° のときのスナップショットモード撮像よりも少なくなり、撮像日数は 8 日から 2 日に短縮することができた。これらの結果から、ASNARO-1 衛星の撮像モ

ードを適切に組み合わせることにより、パイプラインのような広域に亘る撮像も効率的に実施できることを実証できた。

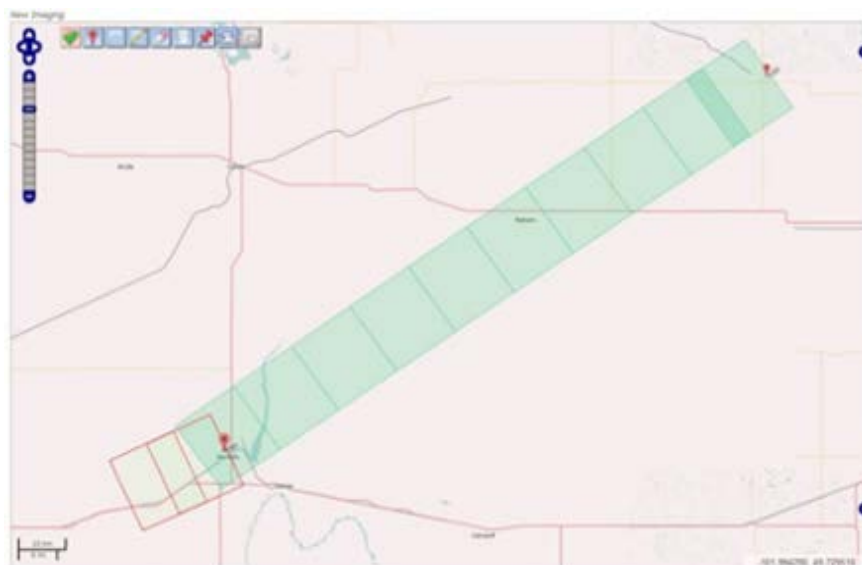


図 2.2.2-6 スキューショットモード撮像のフットプリント

表 2.2.2-3 シミュレーション結果の比較

撮像条件	スナップショット 入射角 45°	スキューショット
撮像回数	17 回	2 回
撮像日数	8 日間	2 日間

2.2.2 (2) パイプラインマップの作成

ASNARO-1 衛星画像を基にパイプラインの GIS データを試作し、石油探鉱に関わる既存インフラデータベース整備における ASNARO-1 衛星の有用性について実証した。先に述べたように石油や天然ガスの探鉱に関連する GIS データベースとして IRIS21 があるが、有償サービスであることや対象範囲が米国とカナダを除く地域であることから利用が限定される。そこで、現在の米国画像地図庁が整備した DCW (Digital Chart of the World) データを参照資料として、ASNARO-1 衛星の画像を基に DCW データを編集することによってパイプラインデータを整備した。ここで DCW データは 1/100 万航空作戦チャートをデジタイズした GIS データであり、既存インフラに関しては地上に敷設されたパイプラインのほか、地下埋設されているパイプラインの情報が含まれている。しかし、航空作戦チャートは 1989 年を最後に更新されておらず、また小縮尺のために掲載されている情報が正確ではなく、そのままでは石油探鉱計画等に用いることはできない。

ここで、ASNARO-1 衛星の画像を背景画像にして、目視判読によってプロジェクト A 国①の DCW を編集した例を以下に示す。

実証はプロジェクト A 国①とプロジェクト A 国②の国境付近の地域ア (図 2.2.2-7) と地域イ (図 2.2.2-8) の砂漠 2 か所を対象とした。ここで両地域のパイプラインは地下に埋設されており、目視判読においては未舗装の道路を誤判読しないよう、敷設線形も考慮しながら判読した。編集したパイプラインデータと DCW を比較すると、編集によってパイプラインが正しい位置に修正されていることのほか、ASNARO-1 衛星の画像では複数のパイプラインが並行して敷設されていることが判別できたことから、パイプライン施設の規模 (本数) まで判読することができた。位置だけでなく施設規模も把握できることは、経済性評価に有益な情報を与えることができると考えられる。

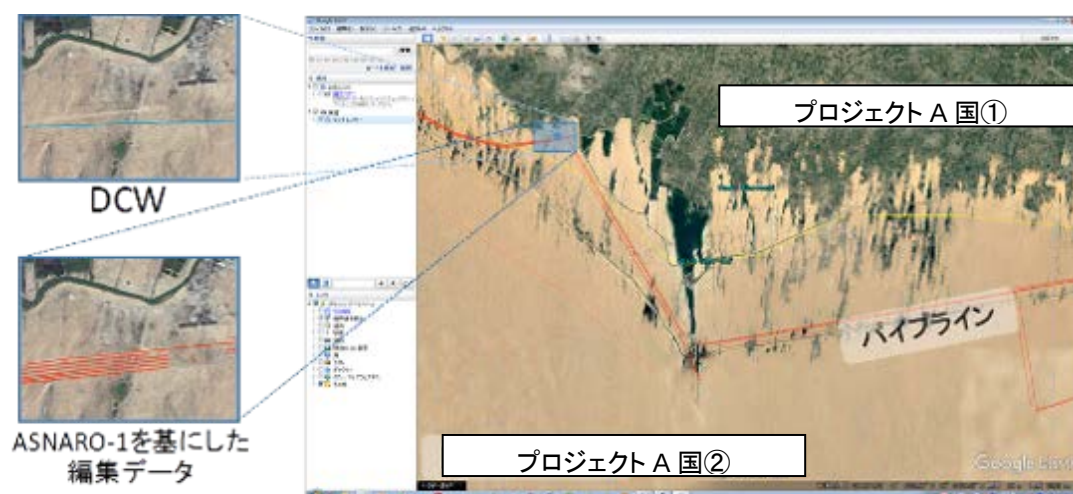


図 2.2.2-7 パイプラインマップの試作例（地域ア）

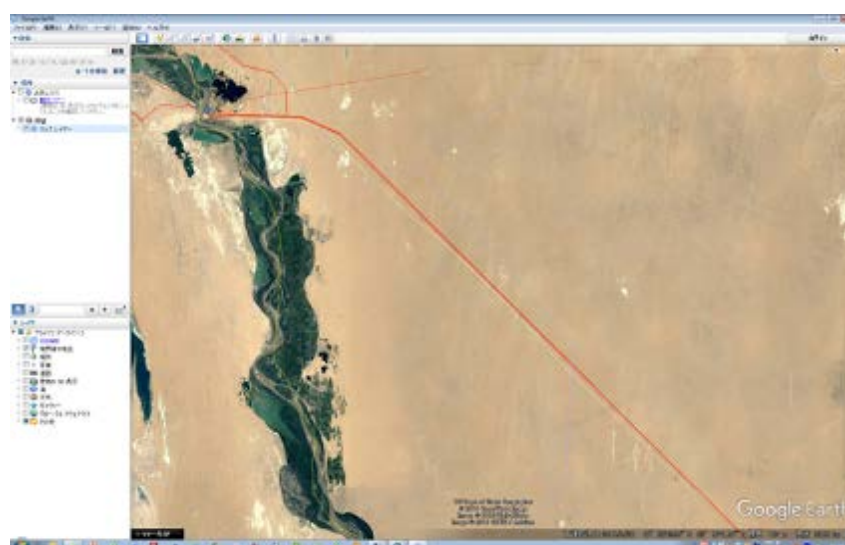


図 2.2.2-8 パイプラインマップの試作例（地域イ）

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

2. 1. 研究開発内容

（1）ASTER

事業アウトプット① 衛星画像データの石油資源探査への利用技術を開発する。

（①a）衛星画像データの石油資源探査への利用技術の開発

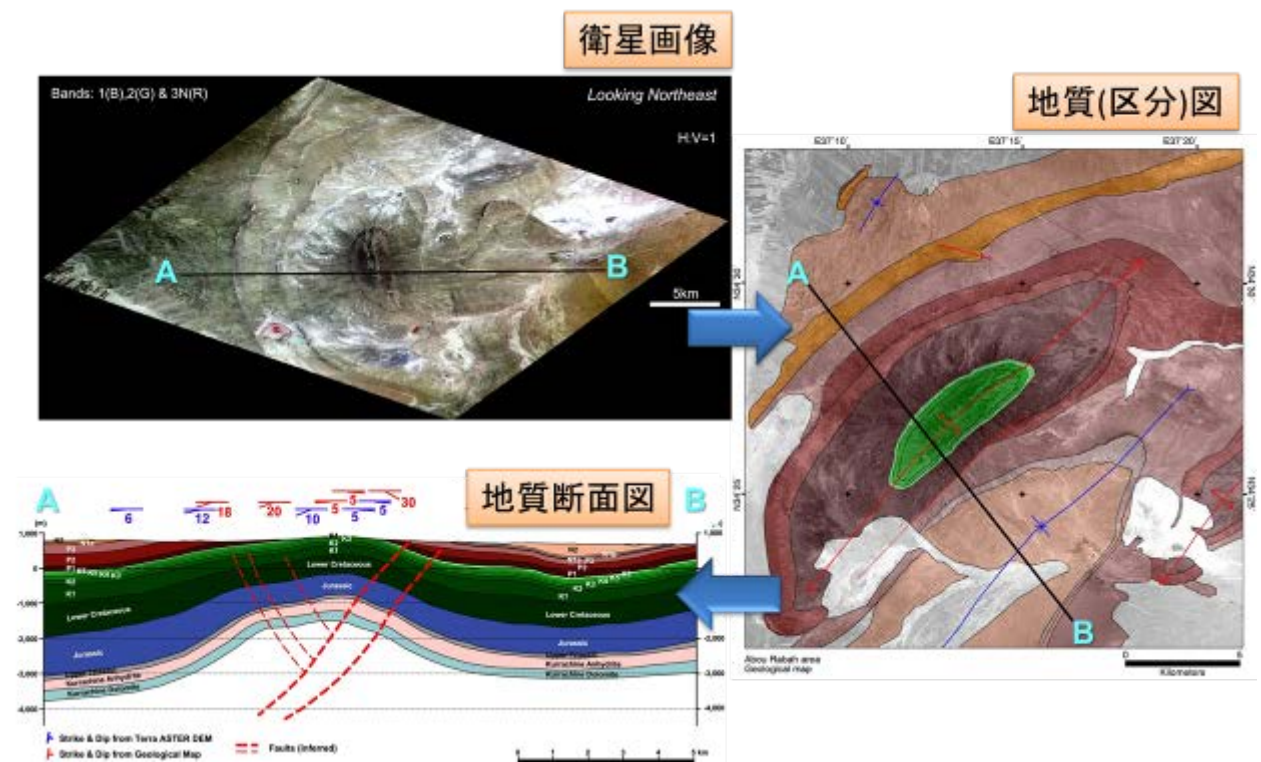
ASTER・PALSAR データについて、石油・ガス鉱床の地表状況・貯留構造等に応じた、あるいは石油・ガス資源の産出可能性がある地域における、石油資源探査への利用技術を合計 57 件開発し、全ての石油資源探査への利用ケースを網羅した。

在来型の石油・天然ガス鉱床は、石油ガスを地中に貯める貯留構造（トラップ）で分類される。また衛星データは地表の被覆状況により適用するデータの種類やその解析手法が異なる。様々な条件を持つ合計 44 地域での利用事例を確立することにより、これらの各種条件における利用技術を網羅的に開発した。

石油資源探査（在来型）への利用技術の開発（44 地域）

貯留構造（トラップ）		植生（湿潤）	半植生（半乾燥）	露岩（乾燥）
背斜トラップ	利用者 要望	大（特にアジア）	小（地域狭）	大（世界・広域）

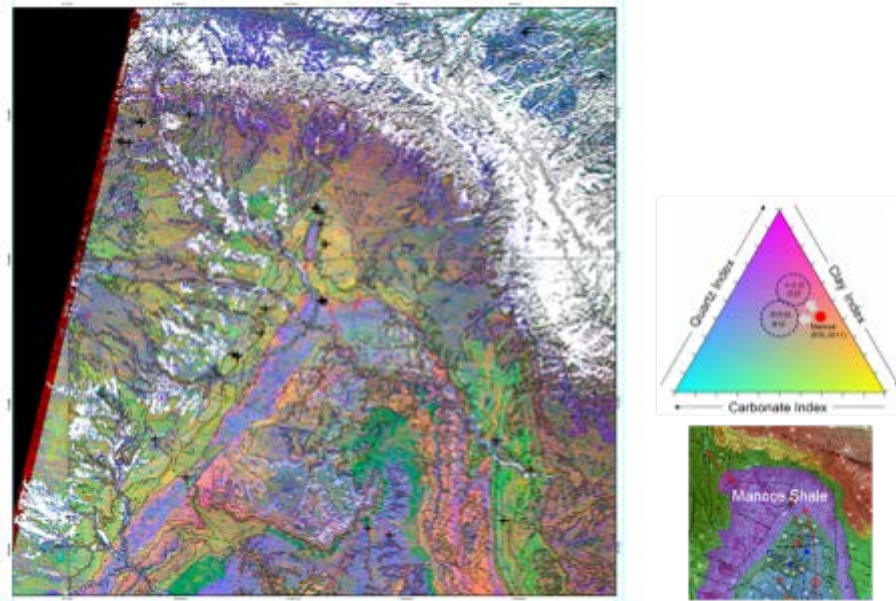
	研究実施	インドネシア等の9地域	アルゼンチン等の2地域	中国等の8地域
断層トラップ (背斜-断層の組合せ含む)	利用者要望	中	小	中
	研究実施	メキシコ等の7地域	-	アルゼンチン等の10地域
その他(層位、不整合、礁トラップ等)	利用者要望	中	小	中
	研究実施	カンボジア等の6地域	-	リビア等の2地域



非在来型資源については、オイルサンドの開発、コールベッドメタンの開発、シェールガスの開発に伴う情報取得方法についても衛星データ利用技術を開発した。

石油資源探査（非在来型）への利用技術の開発（6 地域）

テーマ／技術		
非在来型資源 CBM/オイルサンド/シェールガス	利用者要望	CBM：大／オイルサンド：中／シェールガス：大
	研究実施地	CBM: インドネシア等の 3 地域 オイルサンド：カナダ 1 地域 シェールガス：米国等の 2 地域

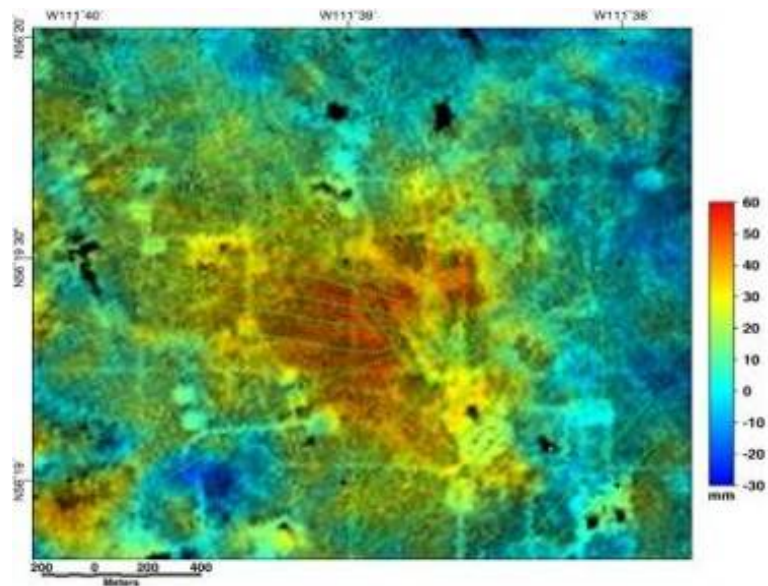


シェールガスに係る頁岩分布域の鉱物分布特性

大規模油田の生産量監視技術の開発を行った。大規模油田の生産量監視技術の開発については、中東の大油田に加え地表状況等の異なる西シベリア、ベネズエラ等の油ガス地域においてもその有効性を確かめた。開発時の環境監視技術については、北極圏において海水監視技術の開発の研究を行った。

石油資源探査（監視）への利用技術の開発（6 地域）

テーマ／技術		
大規模油ガス田生産量監視技術	利用者要望	大
	研究実施地	イラク等の 6 地域
開発時の環境監視技術	利用者要望	大
	研究実施地	北極圏 1 地域



地盤変動の抽出による油ガス田生産量監視



北極海の家氷モニタリング

以上の成果を含め、これまでに開発してきた研究事例を整理した。合計事例は57地域に達し、ASTERおよびPALSARを利用した石油ガス鉱床の貯留構造と地表状況に応じた衛星データ利用技術、及び近年注目をあびている非在来型資源への利用や生産管理監視技術等を十分に確立したと考えられる。これらのうち特に有効な研究事例については、今後の石油資源開発に携わるリモートセンシング技術者の手引書として使えるように整理も行った。

研究開発事例の一覧（石油資源）

No.	対象地域	対象	内容	トラップ	植生	地表
1	アルゼンチン・ネウケン盆地	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	疎	植生
2	ミャンマー・中央盆地	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	疎	植生
3	ミャンマー・カウラ	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	密	植生
4	タイ東北部	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	密	植生
5	ロシア・東シベリア	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	密	植生
6	フィリピン・ネグロス	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	密	植生

7	ロシア・サハリン	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	密	植生
8	インドネシア・西ジャワ	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	密	植生
9	インドネシア・カンゲアン	在来	ASTER、PALSAR、地質・構造判読・解析	背斜	密	植生
10	インドネシア・パプア州北部	在来	PALSAR、地質・構造判読・解析	背斜	密	植生
11	タイ・コラート高原	在来	PALSAR、地質・構造判読・解析	背斜	密	植生
12	中国・民和	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	疎	露岩
13	パキスタン・スレマン	在来	ASTER、地質・構造判読・解析、 ハイパースペクトル解析	背斜	無	露岩
14	イラク・キルクーク	在来	ASTER、スペクトル解析	背斜	無	露岩
15	イラク・南部湿原	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	無	露岩
16	リビア・シレナイカ	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	無	露岩
17	イラク・ザク로스	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	疎	露岩
18	イラク・北部	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	背斜	無	露岩
19	イラク・産油地帯	在来	ASTER、PALSAR、地質・構造判読・解析、GIS データベース化	背斜	疎	露岩
20	メキシコ・ベラクルス	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	断層	密	植生
21	ブラジル・ウアツマ	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	断層	密	植生
22	フィリピン・南東ルソン・ミンドロ	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	断層	密	植生
23	パプアニューギニア・パプア褶曲帯	在来	ASTER、数値地形解析	断層	密	植生
24	インドネシア・マドゥラ～カンゲアン	在来	ASTER、PALSAR、地質・構造判読・解析	断層	密	植生
25	インドネシア・ブトン	在来	ASTER、PALSAR、地質・構造判読・解析	断層	密	植生
26	アンゴラ・コンゴ	在来	ASTER GDEM、PALSAR、地質・構造判読・解析	断層	密	植生
27	アルゼンチン・パタゴニア	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	断層	疎	露岩
28	リビア・ムルズク	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	断層	無	露岩
29	中国・トルファン	在来	多偏波 SAR、解析	断層	無	露岩
30	アルジェリア・Ilizi	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	断層	無	露岩
31	シリア・中央部	在来	ASTER、PALSAR、地質・構造判	断層	無	露岩

			読・解析			
32	リビア・シルテ盆地 1	在来	ASTER、PALSAR、地質・構造判 読・解析	断層	無	露岩
33	エジプト・スエズ	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	断層	無	露岩
34	チュニジア・ Pelagian	在来	ASTER、PALSAR、地質・構造判 読・解析	断層	無	露岩
35	リビア・ガダメス盆 地	在来	ASTER、PALSAR、地質・構造判 読・解析	断層	無	露岩
36	イエメン・ジサカマ ール堆積盆	在来	ASTER、PALSAR、地質・構造判 読・解析	断層	無	露岩
37	カンボジア・トレン サップ	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	その他	密	植生
38	インドネシア・東ジ ャワ	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	その他	密	植生
39	インドネシア・東ス ンダ	在来	ASTER、地質・構造判読・解析	その他	密	植生
40	インドネシア・北ス マトラ	在来	ASTER、PALSAR、地質・構造判 読・解析	その他	密	植生
41	ガボン・東部	在来	ASTER、PALSAR、地質・構造判 読・解析	その他	密	植生
42	ウガンダ・リフト分 堆積盆	在来	ASTER GDEM、PALSAR、地質・構 造判読・解析、GIS データベ ース化	その他	密	植生
43	リビア・シルテ盆地 2	在来	ASTER、PALSAR、地質・構造判 読・解析	その他	無	露岩
44	ケニア・リフト分堆 積盆	在来	ASTER GDEM、PALSAR、GIS デ ータベース化	その他	無	露岩
45	ロシア・西シベリア	油田 監視	PALSAR 差分干渉、大規模油ガ ス田生産量監視	背斜	疎	植生
46	ベネズエラ・油田地 帯	油田 監視	PALSAR 差分干渉、大規模油ガ ス田生産量監視	背斜	密	植生
47	イラク・キルクーク 油田	油田 監視	PALSAR 差分干渉、大規模油ガ ス田生産量監視	背斜	無	露岩
48	サウジアラビア・ガ ワール油田	油田 監視	PALSAR 差分干渉、大規模油ガ ス田生産量監視	背斜	無	露岩
49	クウェート・ブルガ ン油田	油田 監視	PALSAR 差分干渉、大規模油ガ ス田生産量監視	背斜	無	露岩
50	アルジェリア・ハシ メサウド油田	油田 監視	PALSAR 差分干渉、大規模油ガ ス田生産量監視	背斜	無	露岩
51	カナダ・ Hangingstone	非在来	PALSAR 差分干渉	-	密	植生
52	インドネシア・カリ マンタン	非在来	CBM 開発好適地抽出	-	密	植生
53	米国・Uinta 盆地	非在来	シェールガス開発好適地抽出	-	中～疎	植生
54	オーストラリア・ボ ーエン盆地	非在来	CBM 開発好適地抽出	-	中～疎	植生
55	カナダ・ブリティッ シュコロンビア	非在来	シェールガス開発好適地抽出	-	密	植生

56	オーストラリア・スラット盆地	非在来	CBM 開発好適地抽出	-	中～疎	植生
57	北極圏	開発環境	ASTER、 PALSAR、 海氷モニタリング	-	無	海水

(②b) 衛星画像データの様々な分野への利用技術の開発

ASTER・PALSAR データについて、リモートセンシング技術の活用が期待される石油資源探査以外の分野（鉱物資源・環境・防災等）における課題を解決するための利用技術を合計 172 件開発した。

A) 金属鉱物資源探査への利用技術の開発

以下 16 種類の金属鉱物鉱床タイプの合計 48 地域について利用技術を開発した。

金属鉱物鉱床タイプ

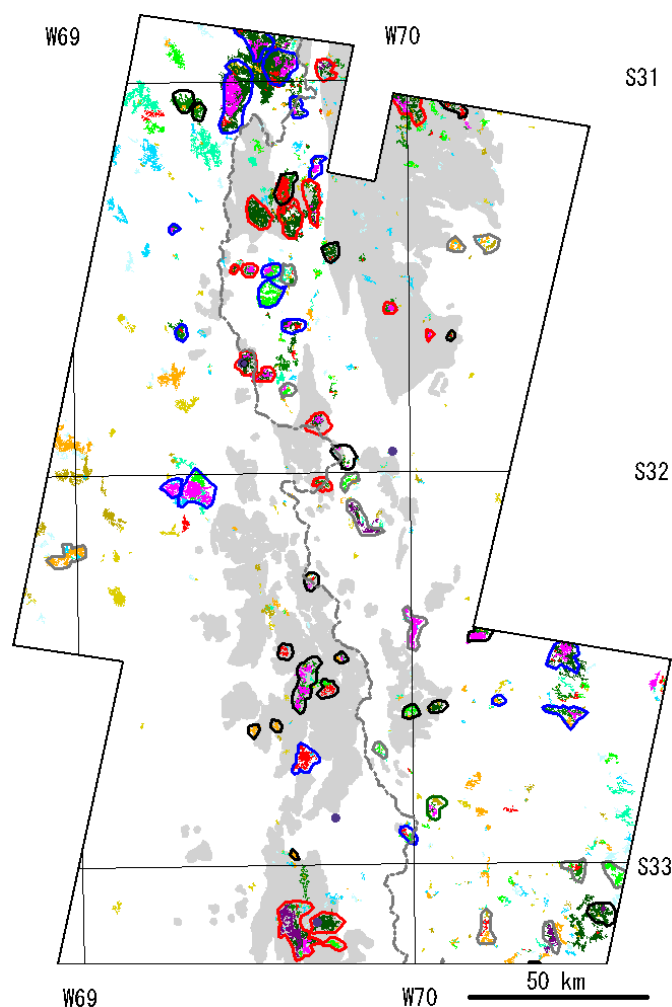
- (1) 斑岩銅鉱床
- (2) 斑岩錫鉱床
- (3) 斑岩銅スカルン関連鉱床
- (4) 亜鉛・鉛スカルン鉱床
- (5) タングステン・スカルン鉱床
- (6) 錫スカルン鉱床
- (7) 浅熱水性石英・明礬石金鉱床
- (8) 低硫化型浅熱水鉱脈鉱床
- (9) 黒色頁岩型ウラン鉱床
- (10) 黒鉱塊状硫化物鉱床
- (11) キプロス型硫化物鉱床
- (12) 南東ミズーリ鉛・亜鉛鉱床
- (13) ラテライト質ニッケル鉱床
- (14) ブッシュフェルト Cr 鉱床
- (15) ボディーフォーム状クロム鉄鉱床
- (16) 酸化鉄型銅金鉱床

研究開発事例の一覧（金属鉱物資源）

No.	年度	研究名
1	平成 10 年度 ～平成 12 年度	チリ共和国北部未探鉱地域における資源胚胎有望度評価技術の研究
2	平成 10 年度 ～平成 12 年度	トルコ・トラブゾン地域における資源形成に関連する地質構造抽出のための地形解析手法の研究
3	平成 10 年度 ～平成 12 年度	熱帯雨林地域における石油資源等に係わる地下地質構造抽出技術の研究（ブラジル北部地域）
4	平成 11 年度 ～平成 13 年度	ハイパースペクトルデータによる高精度鉱物識別の研究
5	平成 12 年度	ASTER データの資源に関わる鉱物識別評価
6	平成 12 年度 ～平成 14 年度	イベリア半島スペイン南西部・ポルトガル南部における資源胚胎有望度評価技術の研究
7	平成 12 年度 ～平成 14 年度	チリ共和国中部乾燥露岩地域における ASTER データによる資源鉱床解析技術の応用研究
8	平成 12 年度 ～平成 13 年度	スカルン鉱床形成場抽出への ASTER データ利用技術の研究（ペルー中部地域）
9	平成 12 年度	資源探査における既存衛星データとの比較による ASTER データ評価
10	平成 13 年度 ～平成 15 年度	半乾燥地域～植生地域のメキシコ合衆国チサパ地域における衛星データを用いた資源探査の実利用技術開発の研究

11	平成 13 年度 ～平成 15 年度	乾燥域における ASTER データによる高感度鉱物同定手法の開発
12	平成 13 年度 ～平成 14 年度	衛星データを利用したミシシッピバレー型金属鉱床抽出技術の開発
13	平成 13 年度 ～平成 15 年度	ハイパースペクトル・リモートセンシングの酸化鉄型銅-金鉱床および斑岩銅鉱床探査への応用
14	平成 14 年度	リモートセンシングデータを活用した風化残留型ラテライト・ニッケル鉱床の抽出技術の開発
15	平成 14 年度	オーストラリア Curnamona 地域における ASTER および航空機センサを相補的に用いた鉱物マッピング技術の研究
16	平成 15 年度	HyMap および ASTER データを利用したラテライト・ニッケル鉱床の抽出技術の研究開発
17	平成 15 年度 ～平成 16 年度	HyMap および ASTER データを利用した鉱物マッピング技術の開発
18	平成 15 年度	チリ共和国中～南部の半植生地域における金属資源探査への ASTER データの応用
19	平成 15 年度	南モンゴル帯中央部における金-銅鉱化帯抽出への ASTER データの適用
20	平成 16 年度	メキシコ中西部における鉱山開発有望地域抽出手法の研究開発
21	平成 16 年度	チリ共和国の疎らな植生地域における金属鉱床賦存有望地のポテンシャル評価技術の研究
22	平成 16 年度	ペルー共和国における既存鉱床周辺探査効率化への衛星データ利用技術の研究
23	平成 16 年度	ASTER データを利用した超塩基性岩に胚胎する PGM 鉱床の抽出技術の開発
24	平成 16 年度	TIR データによる鉱床探査地域選別手法の研究
25	平成 17 年度	ASTER および合成開口レーダによる地質および鉱山情報を用いた金属鉱床賦存有望地の抽出技術の開発
26	平成 17 年度	鉱床探査への地表兆候評価手法および金属鉱床賦存有望地の抽出技術の開発
27	平成 17 年度	ASTER および合成開口レーダによる植生地域におけるラテライト・ニッケル鉱床の抽出技術の開発
28	平成 17 年度	ASTER および合成開口レーダによる金属鉱床賦存有望地の抽出技術の開発
29	平成 17 年度	高硫化系浅熱水性砂岩型金属鉱床の抽出技術の開発
30	平成 17 年度	グライゼン化作用を伴うタングステン鉱床の抽出技術の開発
31	平成 18 年度	PALSAR と ASTER を用いた地質情報統合による資源開発有望地域抽出技術の研究開発
32	平成 18 年度	ボリビア共和国ポトシ地域における ASTER と PALSAR から抽出した地質情報の利用技術開発
33	平成 18 年度 ～平成 19 年度	半植生域における鉱床探査への地表兆候評価手法の開発
34	平成 18 年度	ALOS/PALSAR, JERS-1/SAR による鉱床賦存有望地の抽出技術の研究開発
35	平成 18 年度	ASTER および合成開口レーダによる植生地域における岩相分類技術の研究開発
36	平成 18 年度	ASTER・PALSAR データによる地質解析情報のフュージョン（融合）技術の研究
37	平成 19 年度	タイ王国北東地域における ASTER, DEM, SAR および GIS を活用した鉱床賦存有望地域抽出技術開発
38	平成 19 年度	ペルー共和国中部における鉱床探査への ASTER, PALSAR 利用技術の研究
39	平成 19 年度	カザフスタン共和国中央地域における PALSAR を用いた鉱床に関する構造抽出技術の研究
40	平成 19 年度	ソロモン諸島の植生地域における PALSAR および ASTER による岩相分類技術の開発
41	平成 20 年度	アルゼンチン共和国北部における ASTER と DEM を用いた資源探査への応用
42	平成 20 年度	PALSAR および ASTER データによる変質岩露頭の抽出技術の開発

43	平成 20 年度	チリ共和国コピアポ地域における ASTER および合成開口レーダのデータ融合による鉱床賦存有望地域抽出技術の開発
44	平成 20 年度	ASTER の高次利用による酸性貫入岩抽出技術の研究（ペルー共和国中部地域）
45	平成 20 年度	ウズベキスタン共和国における PALSAR と ASTER を用いた鉱床情報抽出技術の研究
46	平成 21 年度	ボリビア西部における衛星データを用いた資源探鉱への最新解析技術の適用研究
47	平成 21 年度	チリ共和国における PALSAR と ASTER GDEM を用いた探鉱有望地域抽出技術の開発
48	平成 21 年度	ウズベキスタン共和国における PALSAR データの地形補正手法を用いた鉱化関連情報抽出技術の研究



金属鉱物資源の有望地抽出の事例

B) 環境・防災等への利用技術の開発

その他、環境や防災をはじめ、リモートセンシング技術の活用が見込まれる様々な分野における利用技術を開発した。その開発した分野について以下に整理する。

1. 環境分野への利用技術開発

(1) バイオマス, (2) 環境モニタリング, (3) ヒートアイランド, (4) 都市緑化, (5) 砂漠化, (6) 森林, (7) 竹林, (8) 湖沼水質, (9) 河川管理, (10) 沿岸, (11) マングローブ, (12) サンゴ礁, (13) 海水, (14) 氷河, (15) 不法投棄, (16) CO2 地下貯留

2. 災害監視・防災分野への利用技術開発

(17) 災害予測, (18) 地盤沈下, (19) 伝染病監視, (20) 洪水, (21) 土砂災害, (22) 火山,

3. その他資源分野への利用技術開発

- (23) メタンガス, (24) 地熱, (25) 水資源, (26) 波浪
 4. 基盤情報整備への利用技術開発
 (27) 地質, (28) 土地被覆, (29) 国土情報, (30) データセット
 5. その他の利用技術開発
 (31) 教育, (32) 電波伝搬
 6. 一般的な解析手法の開発
 (33) 分類手法, (34) DEM 解析手法, (35) 処理手法, (36) 利用モデル

また開発した利用技術のうち、特に良い成果が得られた利用技術について以下に示す。

研究開発事例の一覧（環境・防災分野等）

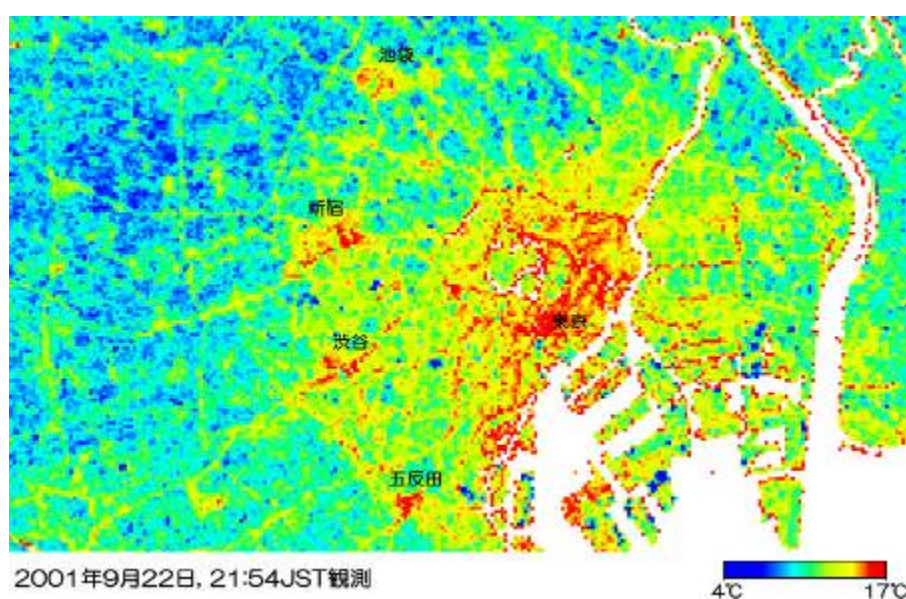
	分野	対象センサ	研究名	研究内容
1	環境	ASTER	ASTER データを用いた水質モニタリング技術の研究開発	湖沼の継続的な水質モニタリングにおいて ASTER データを効果的に活用するための手法を確立する。
2	環境	ASTER	衛星データを利用したプラスチック検知技術の実用化への研究開発	ASTER データを用いたプラスチック検知技術を実用化するために、他の廃棄物と混合している場合の抽出手法の開発、海岸での漂着箇所の抽出や山中/河川敷の不法投棄箇所抽出技術の開発を行う。
3	環境	ASTER	熱赤外域 ASTER データを利用した植生マッピング手法の研究	ASTER データ可視域～近赤外域のデータに加え、熱赤外域データをも利用した植生マッピング手法の開発を行う。
4	環境	ASTER	ASTER データによるサンゴ白化現象の監視と検出技術の研究開発	ASTER データ（2B05）を使用したサンゴ白化域の抽出手法の開発を行う。
5	環境	PALSAR	SAR 後方散乱補正による山地林のバイオマス推定	熱帯雨林地域における山地林の後方散乱補正手法を用いた森林バイオマス推定手法の確立を目的とする。
6	環境	ASTER, PALSAR	吸収源活動モニタリングのための衛星センサ観測戦略に対する研究開発	京都議定書において規定される植林活動を主対象とし今後産業界等における吸収源プロジェクトの実施が想定される地域に対し、ASTER および PALSAR により重点的かつ効率的に観測すべき地域の選定を行うアルゴリズムを開発する。
7	環境	PALSAR	PALSAR データによるバイオマスマッピング手法の研究	京都議定書に定められた森林吸収源による炭素固定量を算出する基礎データであるバイオマスを計測するために、PALSAR で取得されるポラリメトリックデータを利用して複層林のバイオマスを計測する手法を研究開発する。
8	環境	ASTER	ASTER データによる金属資源開発に伴う重金属汚染モニタリング手法の技術開発	定常的な観測が可能な ASTER データを用いて鉱山から流出した酸性水による重金属汚染モニタリング手法の開発を行う。
9	環境	ASTER	実利用に即した緑地モニタリング技術の研究開発	ASTER データを用いた緑被率推定アルゴリズムを開発し、緑地分布図、緑被率マップ等主題図を作成し、地方自治体での「緑の基本計画」等の緑地管理を目的とした総合的な緑地モニタリング技術を構築する。
10	環境	ASTER	ASTER データを用いた森林の CO ₂ 吸収・固定量把握のための基礎パラメータに関する研究開発	衛星データを用いた森林計測のためのパラメータ算出手法の山地や丘陵地等の広域の森林計測への適応を行い、CO ₂ 吸収・固定量把握事業に応用可能な技術の開発を行う。
11	環境	ASTER	里山放置地域の竹林化の実態および特性把握に関する研究開発	里山の状況を把握・管理するために、ASTER データ（VNIR ¹¹ /SWIR/DEM）を用いた里山の竹林化の面的な分布状況、経年的な変化傾向、および竹林化の特性の把握手法を開発する。
12	環境	ASTER	ASTER データを用いた沿岸環境モニタリング手法の実用化に向けた研究開発	ASTER データを用いた水温情報の作成方法と表示形態について検討するとともに、水温情報の実用化と沿岸環境モニタリングにおいて ASTER データを効率的に活用するための手法を提案する。

¹¹ ASTER VNIR: ASTER センサの中の可視近赤外放射計 (Visible and Near-Infrared Radiometer)

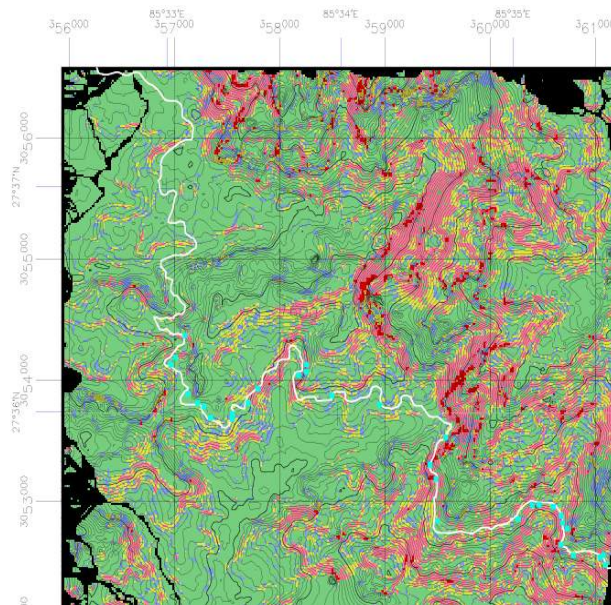
13	環境	ASTER	ASTER データを用いたヒートアイランド現象の解析シミュレーションモデルの研究開発	現在用いられている 100m～数 100m 分解能のヒートアイランド対策効果解析用シミュレーションモデルへ ASTER データを取り組み、より高精度なヒートアイランド軽減対策に応用するための技術を開発する。
14	環境	ASTER	ASTER VNIR および SWIR データを利用したマングローブマッピング	ASTER データの VNIR および SWIR の特徴を用いたマングローブ樹種区分図作成手法を開発する。
15	環境	ASTER	デブリ被覆氷河における氷河湖形成位置の予測手法に関する研究	ASTER/DEM データを用いて氷河地形の特徴量を抽出し、氷河湖形成場所および決壊の可能性のある氷河の抽出手法を開発し、実利用を念頭においたハザードマップ作成手法に関し検討する。
16	環境	ASTER	ASTER データを用いた植林 CDM・モニタリングにおける植生変化解析に関する研究開発	植林 CDM（クリーン開発メカニズム）の地域選定などに用いる為に、ASTER データおよびその他の既存衛星データ等を組み合わせる土地被覆変化に関する情報の抽出を行う手法および将来の土地被覆変化の予測を行う手法を開発する。
17	環境	ASTER	ASTER データの沙漠交錯帯への適用に関する研究	オアシスと沙漠の中間に存在する沙漠交錯帯に分布する植生の種類・密度を把握する技術の開発を行うと共に、オアシス管理に関する政策立案や意思決定のための支援情報の効率的な蓄積・管理手法を検討する。
18	環境	ASTER	ASTER データによる植生被覆地域における油土壌汚染箇所抽出手法の研究開発	植生に覆われた地域での油による土壌汚染箇所を把握するために油土壌汚染と植生の関係を衛星データで明らかにする手法の開発を行う。
19	環境	ASTER, Hyper	マルチスペクトル、ハイパースペクトルおよびレーザーキャナーによる森林計測	ASTER データによる樹種区分を基準データとし、CASI データを用いた樹種区分を行い森林計測のための樹種区分手法の開発を行う。レーザーキャナーデータを用いた樹高計測および現地調査結果とも併せバイオマスの算出を行う。
20	環境	ASTER	吸収源 CDM プロジェクトの設計・実施における ASTER データ利用技術開発	吸収源 CDM プロジェクト申請に必要なプロジェクト設計書作成を目的とし、ASTER データ等のリモートセンシングデータの適用範囲の検討および処理・解析技術の開発を行う。
21	環境	ASTER	ASTER データを用いた自動地図作成手法の研究開発	ASTER データを用いた、地図に必要な道路網等の線型情報、等高線や土地被覆・土地利用情報を抽出し、それらを組み合わせた実用性のある地図の作成手法を研究開発する。
22	環境	ASTER	中空間分解能衛星データを用いた植林 CDM・モニタリングにおける植生変化解析手法の開発	過年度「ASTER データを用いた植林 CDM・モニタリングにおける植生変化解析に関する研究開発」において開発された植林モニタリングおよび植生状況の将来予測手法の精度向上を図る。
23	環境	ASTER, Hyper	植林地域における植生環境情報の抽出技術の開発	植林事業、森林保全において必要とされる植生情報の抽出技術の開発を、植林地を対象にした同期観測により取得された ASTER データと HyMap データおよび現地計測データを用いて行う。
24	環境	PALSAR	衛星搭載型合成開口レーダデータを用いた波浪情報抽出アルゴリズムの開発	波浪予測の高精度・広範囲予測化を行うために、PALSAR 実利用を前提とした、JERS-1/SAR（L バンド）を用いた波浪情報抽出技術の開発を行う。
25	環境	ASTER	ASTER データを用いた北方林の CO ₂ 吸収機能評価に関する研究開発	ASTER データを用いた北方林の CO ₂ 吸収機能評価手法を開発する。
26	環境	PALSAR	PALSAR データによる波高推定アルゴリズムの開発および適用性評価	PALSAR データを用いた波高推定アルゴリズムを開発することを目的とする。この成果により、波浪予測システムの予測精度向上・コスト削減が可能となり、沿岸防災や船舶運行コストの削減へと繋がる事が期待される。
27	環境	PALSAR	PALSAR および PRISM による山地林の森林バイオマス推定手法の開発	PALSAR および JERS-1/SAR の SAR データと ALOS/PRISM を用いて山地起伏による高精度後方散乱補正手法の開発により山地林のバイオマス量推定手法の高精度化を目的とする。
28	環境	PALSAR	PALSAR データを用いた地表物識別分類手法の研究開発	PALSAR のフルポラリメトリデータの偏波シグネチャに含まれる地表物の散乱特徴量を利用し、油田開発に伴う環境保全のための植生被覆分類を中心とした地表物の識別手法を開発することを目的とする。

29	環境	PALSAR	PALSARによる熱帯域山地林のバイオマス量推定手法の開発	温暖湿潤～熱帯湿潤地域において、PRISM DEMが利用できない地域でも、SRTM DEMあるいはASTER GDEMを用いてPALSARの地形補正を効果的にを行い、広域的で汎用的な山地林のバイオマス量推定手法を開発する。
30	環境	PALSAR	差分干渉 SAR を用いた地盤沈下地域の高精度モニタリング	既存の差分干渉手法の問題点を洗い出し、それを元に定量的な判断を処理に反映させるような新たなDin SAR アルゴリズムの開発を行う。
31	環境	ASTER	超苦鉄質岩を利用した大気 CO ₂ の地下貯留サイトの評価に関する研究開発	CO ₂ の超苦鉄質岩に伴う炭酸塩への吸着を念頭に置いたASTER データを用いた適地抽出技術の開発を行う。
32	防災	PALSAR	差分干渉 SAR の高精度処理技術の開発	既存の SAR による差分干渉技術の問題点を洗い出し、それに伴って差分干渉アルゴリズムの開発を行い、最終的に高精度の地盤沈下モニタリングに適用する。
33	防災	ASTER	フィリピン(東南アジア島弧変動帯)におけるリモートセンシングによる資源・環境情報抽出技術の研究	東南アジア島弧変動帯の典型であるフィリピン諸島を対象地域として、ASTER データを使用し地熱探査のための応用技術の開発及び火山域の熱分布のモニタリング・防災への応用技術の開発を行う。
34	防災	PALSAR	差分干渉 SAR を用いた地盤沈下地域の高精度モニタリング	既存の差分干渉法の問題点を洗い出し、それを元に定量的判断を処理に反映する新たな差分干渉のアルゴリズムの開発を行う。また、現在地盤沈下が進行している地域に対して適応し面的な変動の高精度な抽出が可能か評価する。
35	防災	PALSAR	インドネシア・中部カリマンタン州における干渉 DEM 作成および地表面変位計測	PALSAR データを用いた干渉処理により、稜線・谷線の位置精度が高い DEM を作成する。PALSAR および TerraSAR-X データを用いた差分干渉解析により、中部カリマンタンの州都 Palangkaraya 周辺の地表面変位計測を行う。
36	防災	ASTER	ASTER データを用いた内水氾濫対策事業のための土地条件データ整備に関する検討	内水氾濫対策を立案するための土地条件の広域調査手段を検討する。浸透/不浸透域の区分、時系列変化等の土地被覆条件および内水氾濫時の水の溜まりやすさの評価のための地形条件の抽出方法等を開発・検討する。
37	防災	ASTER	ASTER 画像データを用いる洪水予測システムの研究開発	洪水予測システムの構築に対し必要となる入力情報を ASTER データから抽出する手法の研究開発を行う。その結果抽出された情報を用いた洪水モデルを開発し抽出手法および抽出情報の有効性を評価する。
38	防災	ASTER	極低平地における環境影響評価手法の開発	極低平地における開発等に資するために、衛星データを用いた主として洪水等の自然災害による流域環境に与える影響評価手法の開発を行う。
39	防災	ASTER	ASTER データを用いた地滑り・斜面崩壊危険箇所推定手法の開発	ASTER データより抽出した地滑り・斜面崩壊に関連する情報データとした詳細解析対応地域を絞り込むための「決定木」を用いた地滑り、斜面崩壊に対応可能な危険箇所推定手法の開発を行う。
40	防災	ASTER	ASTER データを用いた斜面防災支援技術の研究開発	道路、パイプラインや施設等の建設計画時のルート選定や適地選定や崩壊危機斜面への対策工事の実施などを支援する目的で、潜在的な崩壊危険斜面の抽出手法を開発する。
41	防災	ASTER	ASTER による SO ₂ ガス濃度解析技術及び高温物質温度解析技術の研究	ASTER TIR データを用いた大気中の高濃度 SO ₂ ガス濃度および ASTER SWIR データを用いた地表高温物質の温度（100℃以上）を推定・マッピングするための技術の検討・検証・ツール化する。
42	資源	ASTER	ASTER データによりメタン濃度分布を推定する方法の研究	ASTER データのスペクトル解析を行い、油ガス田に伴い地表付近の土壌中に滲出したメタンを抽出する技術を開発し従来の地表地化学探査に替わりうる技術の開発を行い石油資源探鉱に資することを目的とする。
43	資源	ASTER	インドネシアにおける石油代替エネルギーの潜在性評価に関する研究開発	インドネシアを対象国とし、バイオ燃料資源の安定供給のため、ナンヨウアブラガリの栽培候補地の選定技術開発および評価を行う。
44	資源	ASTER	水資源探査へのリモートセンシングデータの適用性評価	従来から行われてきた地下水資源探査・開発をより効率良く行う為の実利用可能な ASTER データを中心とした衛星データの利用法とその解析手法の開発を行う。
45	資源	ASTER	乾燥地帯を対象とした水資源調査手法の開発	積雪の範囲、融雪水の流路とその季節毎の変動および地形の起伏状況などを衛星リモートセンシングによって抽出・図化することにより、オアシス管理のための政策や対策事業へ利用可能なデー

				タセットの試作を行う。
46	情報	ASTER	ASTER昼夜TIR画像による地質情報抽出の検討	夜間TIRデータの精密幾何補正ツールの開発を行い、幾何補正処理の効率化をはかる。また、精密に幾何補正された昼夜TIRデータを用いて得られる鉱床探鉱に有用な地質情報抽出のための手法開発を行う。
47	情報	PALSAR	ポラリメトリックSARインタフェロメトリによるターゲット分類手法に関する検討	従来のポラリメトリックSARによる分類（人工構造物、森林、耕地、裸地等）よりもさらに細かく、高精度にターゲットの分類を行う手法を確立する。
48	情報	ASTER	ASTER画像を用いた時系列高分解能画像データ作成モデルの開発	ASTERの熱赤外域とNOAA（AVHRR）に適用し温度変化を広域かつ時系列に把握するモニタリング手法を検討する。また、都市域および都市周辺域での緑地評価を行うための実利用・産業化を検討する。
49	手法	PALSAR	差分干渉SARを利用した局所的な地表変動の監視に関する研究	差分干渉SARによる変動検出を実用化させるためには、位置のみならず局所的な地表変動の範囲や進行状況を精度よく把握する必要がある。変動が確認されている地域を対象として精度向上のための応用技術開発を行う。
50	手法	PALSAR	SAR後方散乱補正処理手法の開発	山地におけるSAR後方散乱補正手法を開発し、当手法による実用ソフトウェアを開発する。
51	手法	PALSAR	差分干渉における大気遅延補正手法の検討	国土地理院が全国に設置している電子基準点等を利用し、差分干渉の誤差となる大気遅延を補正し、精度よい差分干渉の結果を得る。
52	手法	PALSAR	マルチバンドポラリメトリックSARインタフェロメトリ応用手法の研究	SIR-CのマルチバンドSARデータ（LバンドおよびCバンド）を用い、ポラリメトリックSARインタフェロメトリの応用手段の開発と検証を行う。
53	手法	PALSAR	PALSAR干渉処理を用いた高緯度地域におけるDEM作成技術の研究開発	高緯度地域（北緯60度以北）のASTERGDEMを補完するため、PALSAR干渉処理によるDEM作成技術を開発し、標高および空間分解能の精度を評価する。
54	手法	PALSAR	SARにおける多偏波・多周波数解析利用技術の研究	LバンドSARとXバンドSARをそれぞれ個別に解析した結果と多偏波・多周波（融合解析）した結果を比較し、融合性解析の有効性を検証する。
55	手法	ASTER	ASTERDEMによる構造の3次元解析手法の開発	ASTERプロダクツのDEMの地形特徴に基づいた補正手法の開発、および地形特徴を利用したリニアメントを制度良く自動抽出し、断裂系の三次元的な解析を行う手法を開発する。



ヒートアイランド解析結果



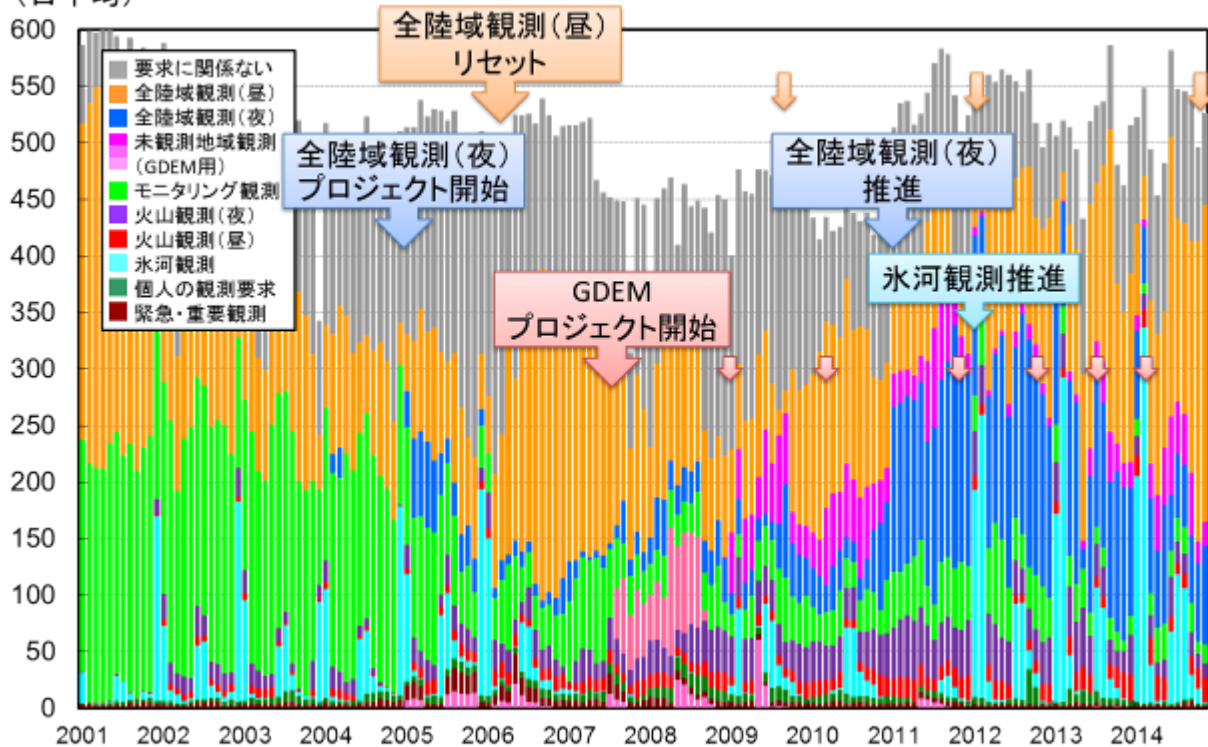
土砂災害危険度マップ解析結果

事業アウトプット② 品質の保証された衛星画像データを生産し、ユーザに提供する。

(②a) 観測計画の作成

- ✓ ユーザの各種要求を適切に優先度付けして、機器の観測制約を遵守しつつ、効率的な観測計画を作成し続けた。(下图参照)
- ✓ 毎日1日分の観測計画を滞りなく作成して、Terra を運用する NASA へ提出し続けた。(提出率 99.99%を達成)

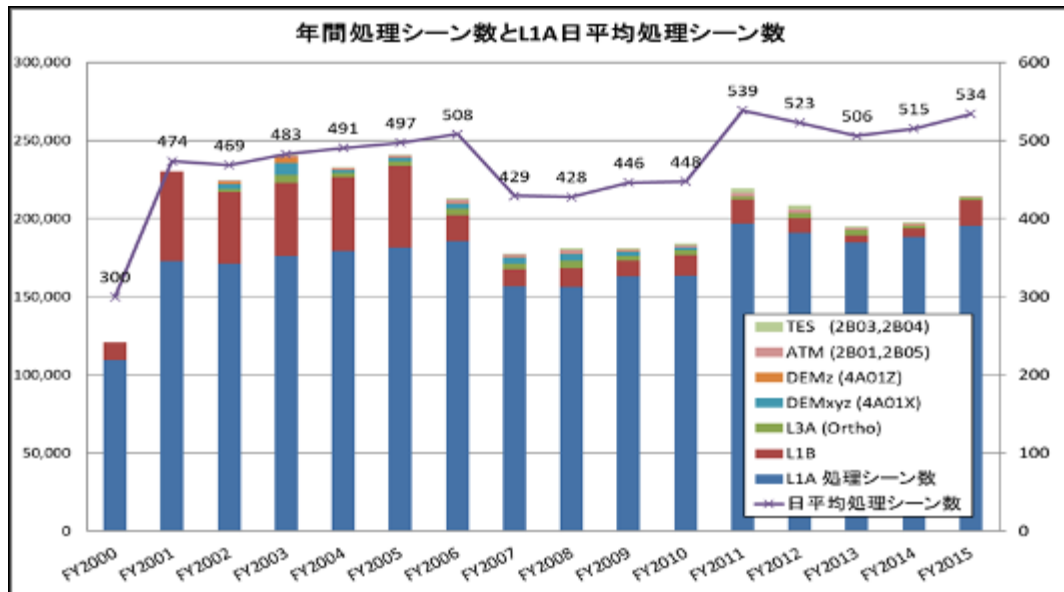
観測シーン数
(日平均)



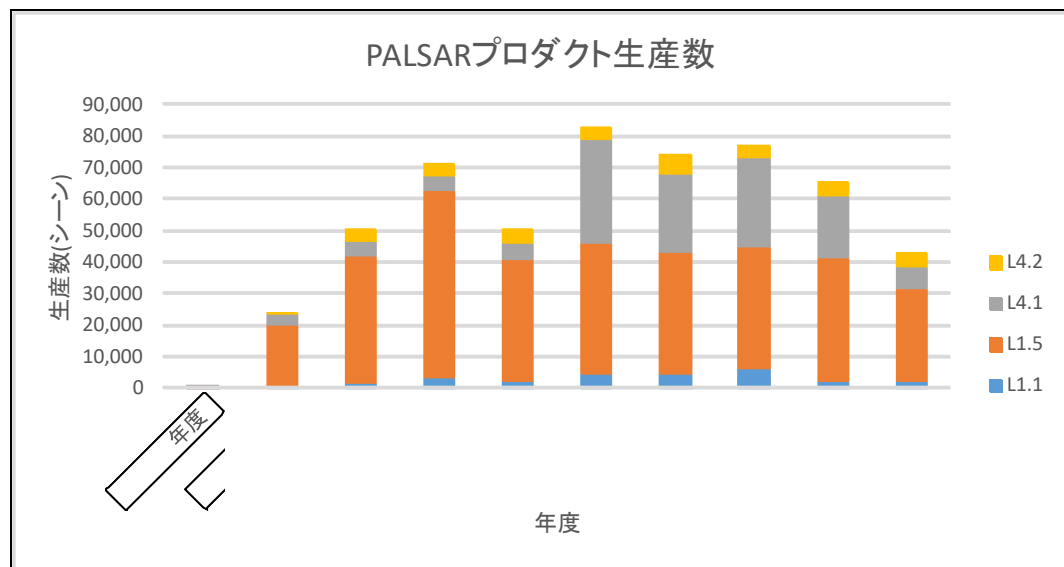
観測計画の作成結果

（②b）衛星画像データの入手と処理と保存

観測計画に基づき、ASTER・PALSAR の観測データの全量を、入手し、適切に処理し、保存した。平成 29 年度は、日平均 534 シーンの ASTER データを処理した。



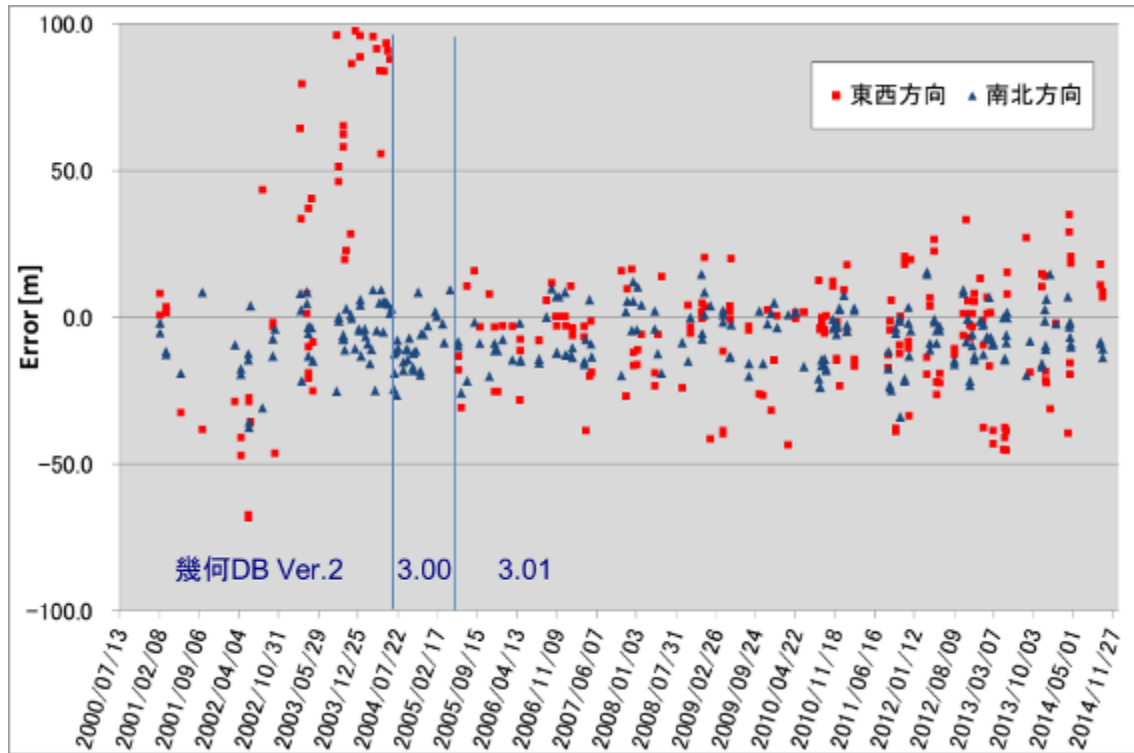
ASTER データ入手・処理・保存数
(平成 29 年度の処理数は、日平均で 534 シーン)



PALSAR データ入手・処理・保存数

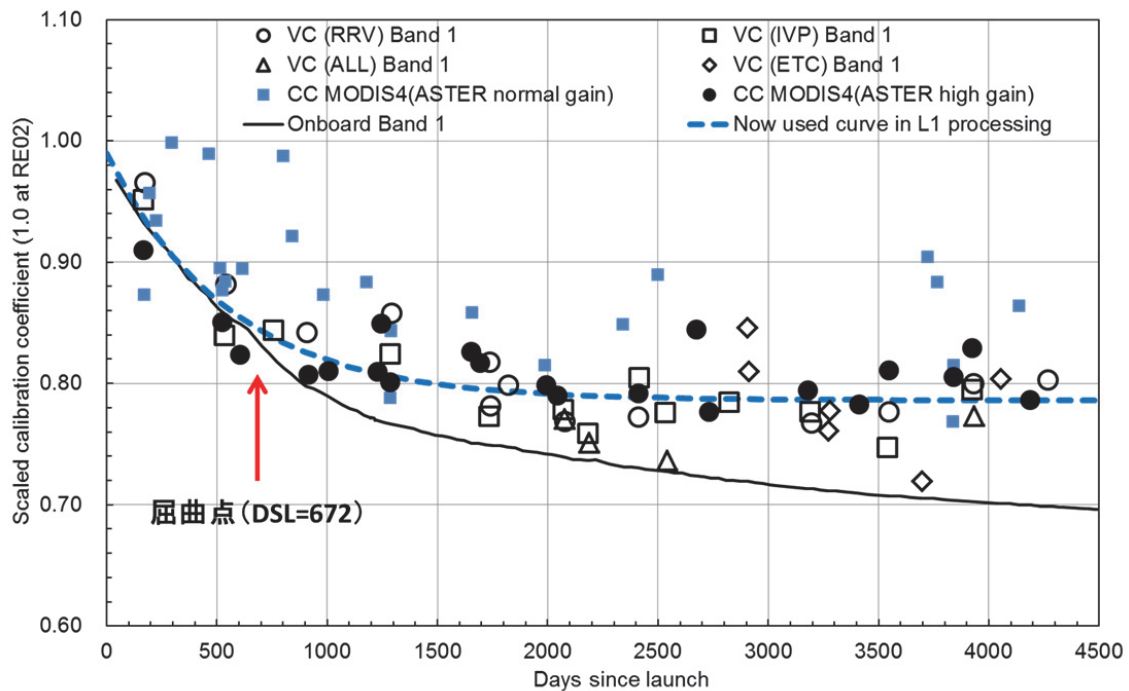
（②c）衛星画像データの品質管理

ASTER の幾何精度においては、殆どのケースで 30m 以内の位置精度を維持している。

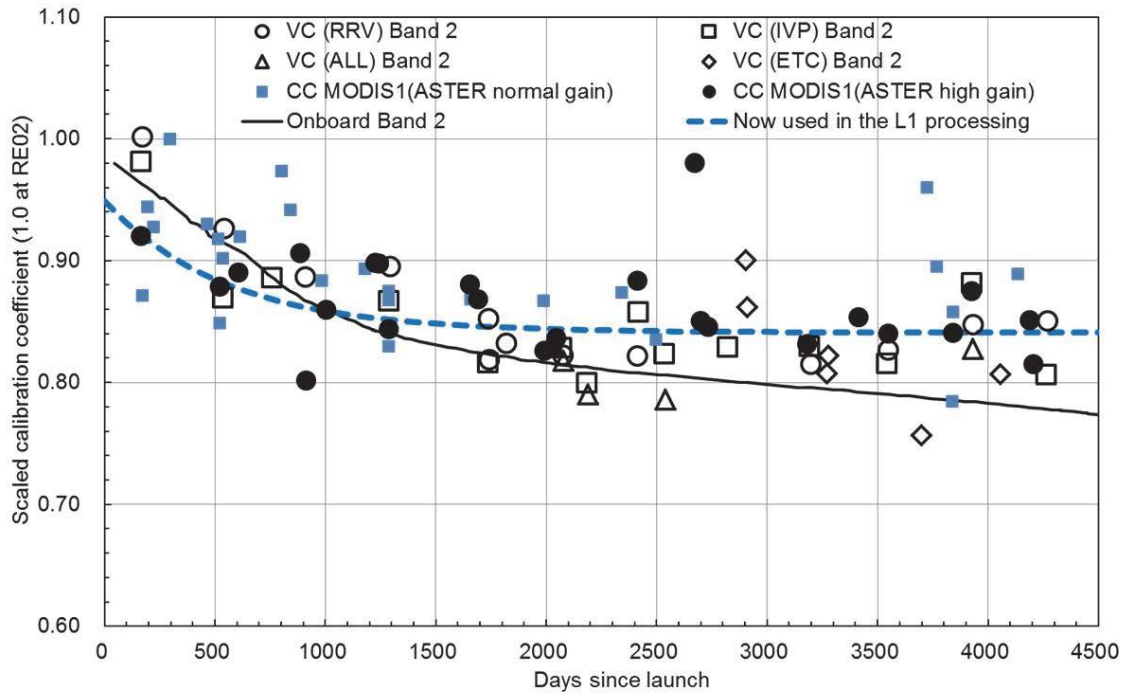


ASTER の位置精度検証結果

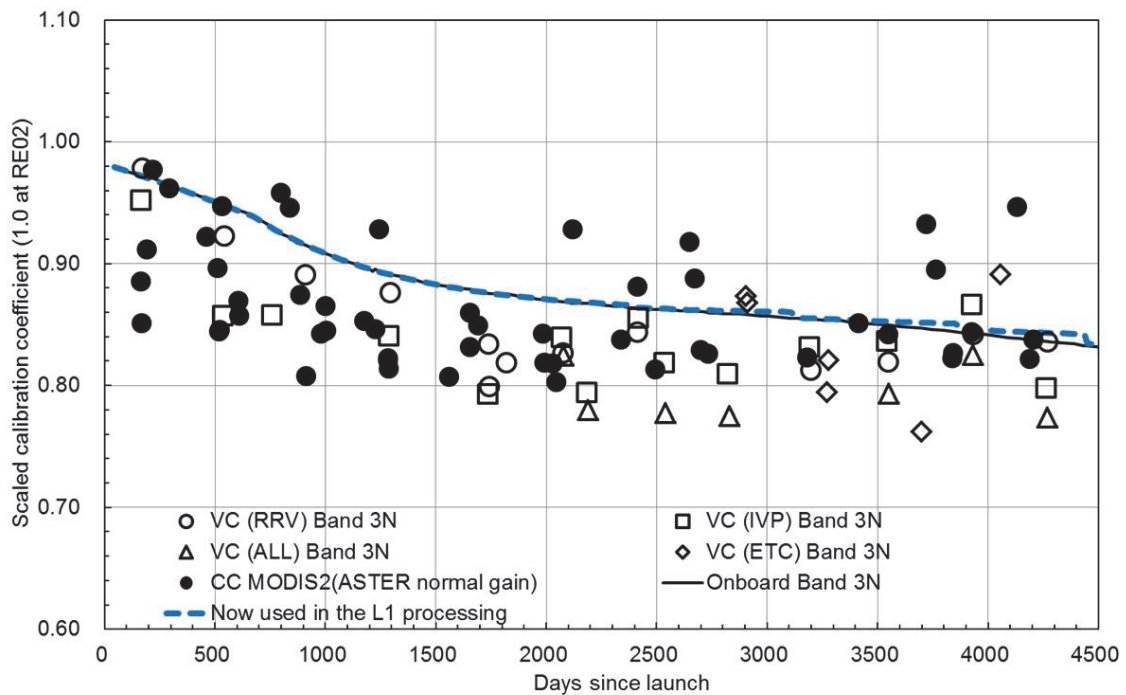
ASTER VNIR の放射量精度においては、可視近赤外において $\pm 2\%$ を維持していると考えられる。



(a) Band1



(b) Band2

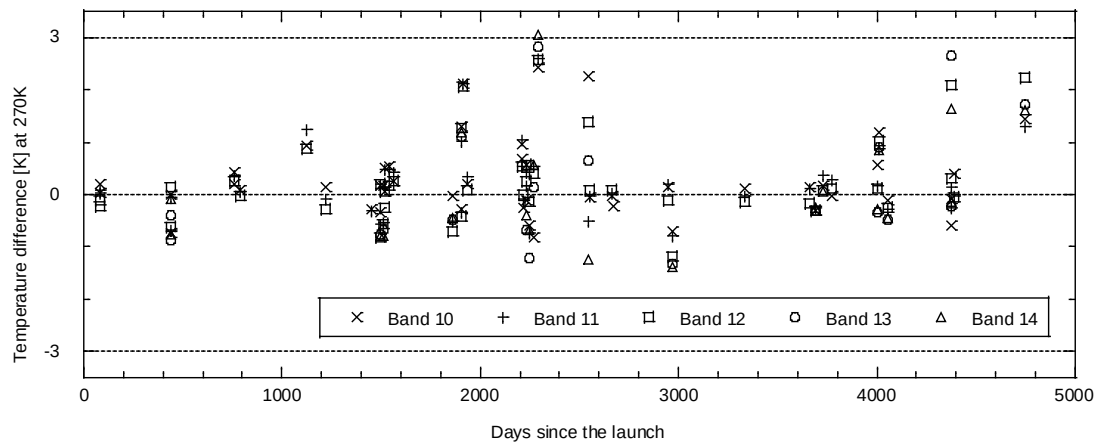


(c) Band3N

ASTER VNIR の放射量感度経年劣化の解析
 感度経年劣化分（青点線）を補正して品質を維持する。
 黒実線：機上校正の結果
 ○□△◇：代替校正の結果
 ●：相互校正の結果

ASTER TIR の放射量精度においては、多くのケースにおいて、温度換算±1 度未満の精度となってい

る。



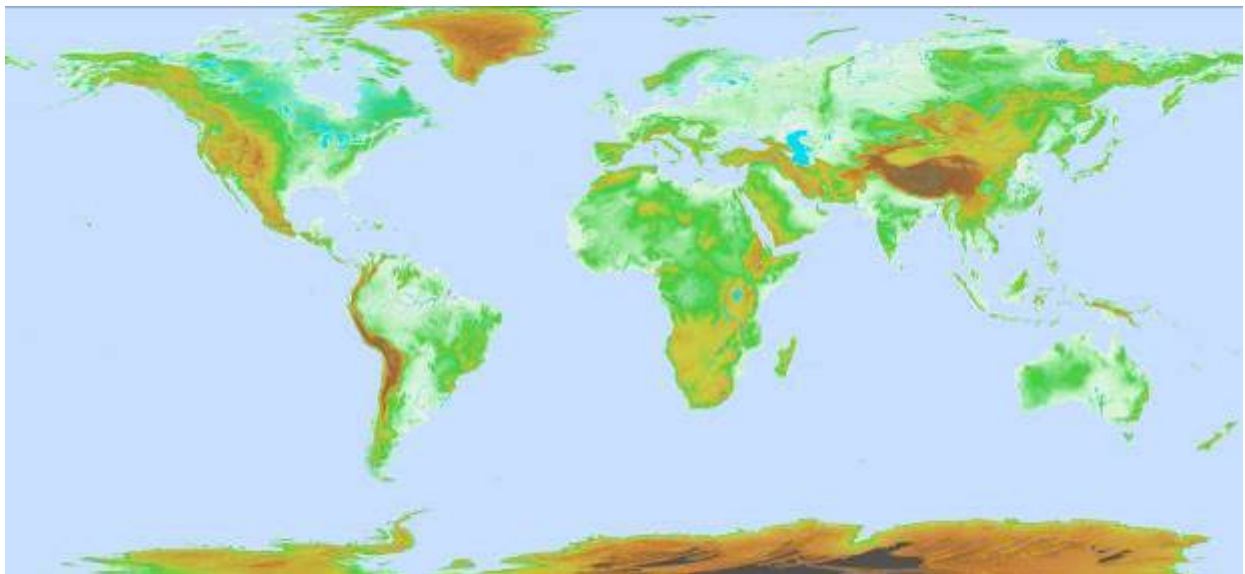
ASTER TIR の機上校正と代替校正の 270K での差の評価

(②d) 衛星画像データから処理した情報の整備

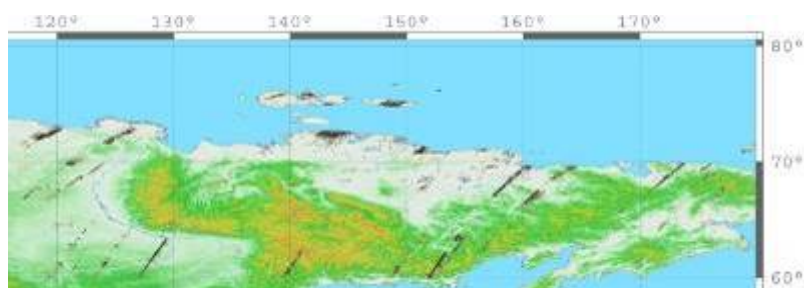
ASTER 全球三次元地形データ (ASTER GDEM) の整備

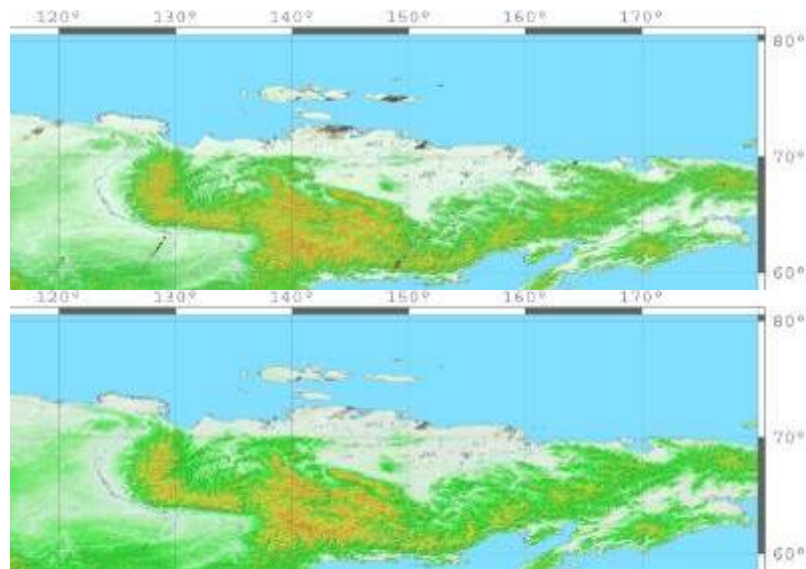
ASTER のステレオ画像データを処理することにより標高を算出するアルゴリズムを開発した。この処理を全球へ展開することにより唯一の全球を高分解能でカバーする ASTER 全球三次元地形データ (ASTER GDEM) を整備した。

ASTER GDEM は、2009 年 7 月にバージョン 1 を公開し、2011 年 10 月にバージョン 2、そして 2018 年にバージョン 3 を公開する予定である。バージョンアップに伴ってその品質を向上させている。



ASTER 全球三次元地形データ (ASTER GDEM)





上よりバージョン1、2、3

バージョンアップとともにシベリア地域における DEM 欠損地域が低減する

オイルスリックデータベースの整備

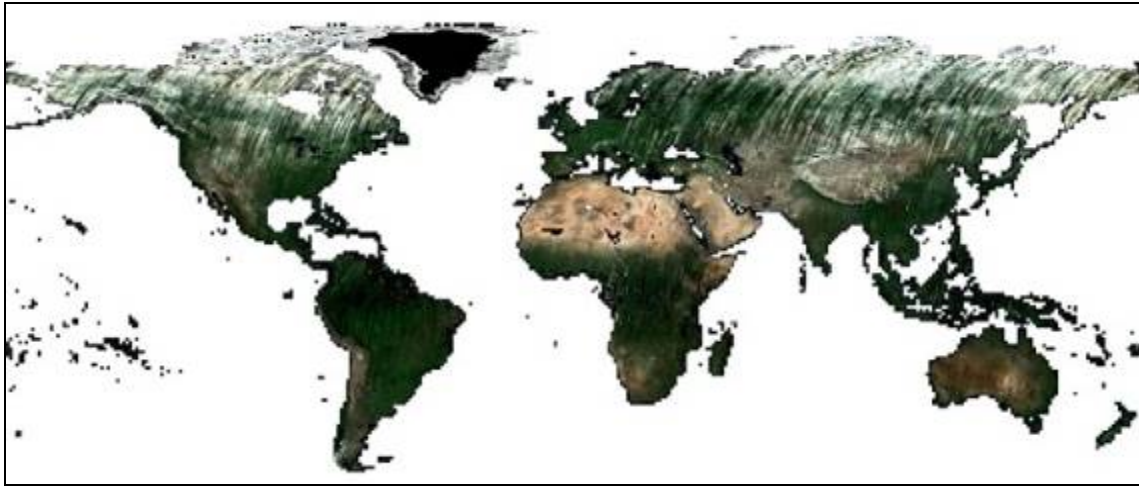
世界の海域のうち、石油資源有望地域の 23 沿岸域について、PALSAR データよりオイルスリック候補を抽出して、データベースとして整備した。



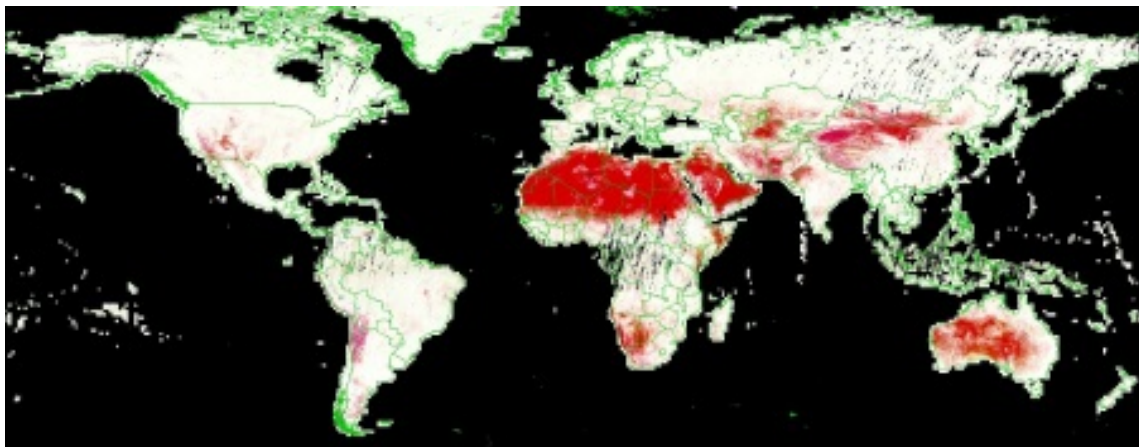
オイルスリックデータベースの整備地域

その他全球データの整備

ASTER VNIR から自然色画像を作成するアルゴリズムを開発し、全データに適用して全球放射率マップを作成した。また ASTER TIR から地表面放射率を作成するアルゴリズムを開発し、全データに適用して全球放射率マップを作成した。



全球自然色画像



全球放射率データ

(②e) 衛星画像データのユーザへの提供

ASTERとPALSARを合計約30万シーンユーザに提供した。またGDEMを約1500万件ユーザに提供した。

(2) ASNARO-1

実証運用では石油資源探査に係る実利用を想定し、撮像要求受付・処理、撮像計画立案、撮像及び画像処理等を実施し、石油資源探査機関に対して撮像画像の提供を行った。並行して、S/NやMTFなどの画像校正や軌道傾斜角修正などのメンテナンスに関わる運用を実施し、商用運用のためのコンセプトの見直しを行った。

なお、高解像度衛星画像データは航空写真測量の代替が想定され、GISにおける背景図としての利用やステレオ計測によるマッピング等の用途が考えられる。例えば、撮像時の入射角によっては急峻な山地地域において画像に倒れこみが発生し、判読性能が低下するだけでなく、GISデータとの重ね合わせが困難になる。また、プロダクトは10 km×10 kmを単位としたシーンで提供されるため、広域の画像を扱う際には、隣り合うシーン間の位置合わせや画像表示ソフトウェアでの複数シーン表示が必要になる。最後に、標高は現地調査の予察につながる重要な情報であり、航空写真測量と同じように得られることが必要である。そのための利用技術開発として、オルソ幾何補正、DSM、モザイクといった画像処理による高付加価値プロダクト生成技術の開発を行った。

2. 2. 事業アウトプット

(1) ASTER

事業アウトプット指標		
アウトカムの達成に必要な以下の成果を達成することをアウトプットとする。 ①衛星画像データの石油資源探査への利用技術を開発する。 ②そのために必要な、品質の保証された衛星画像データを処理生産し、ユーザに提供する。 指標： ①開発した利用技術の開発件数 ②衛星画像データの処理数（平成 27 年度の目標は日平均 500 シーン）・ユーザへの提供数		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時	計画：衛星画像データの生産システム、およびその利用技術の開発を開始する	実績：ASTER と PALSAR データの生産システム、およびその利用技術の開発を開始した。
中間評価時（衛星運用開始時）	計画：衛星画像データの生産システムの開発を完了し、システムの運用とデータの提供を開始する。	実績：ASTER と PALSAR データの生産システムの開発を完了し、システムの運用とデータの提供を開始した。
終了時評価時	計画：衛星画像データの処理生産（平成 27 年度の目標は日平均 500 シーン）と提供と品質管理を継続する。衛星画像データの利用技術の開発が全て完了する。	実績：ASTER と PALSAR の観測データの全量（平成 27 年度の実績は日平均 534 シーン）を適切に処理生産し、その内約 30 万シーンをユーザに提供した。利用技術を合計 57 件開発し、全ての石油資源探査への利用ケースを網羅した。

< 共通指標実績 >

論文数	論文の被引用度数	特許等件数（出願を含む）	特許権の実施件数	ライセンス供与数	国際標準への寄与	プロトタイプ作成
449	426	2	—	—	—	—

なお、上記の中で平成 27 年度から平成 29 年度においては、論文の被引用度数は 126 件、その他指標は 0 件。

(2) ASNARO-1

事業アウトプット指標		
【指標】 石油資源探査における ASNARO-1 の画像データ提供件数（シーン数） 【設定理由】 アウトカムに記載した内容を達成するため、経済産業省から指定されたエリアの撮像を実施し、画像を提供する。		
指標目標値（計画及び実績）		
1 年目（平成 27 年度）	計画：242 シーン	実績：369 シーン
2 年目（平成 28 年度）	計画：396 シーン	実績：471 シーン
3 年目（平成 29 年度）	計画：300 シーン	実績：246 シーン

< 共通指標実績 >

論文数	論文の被引用度数	特許等件数（出願を含む）	特許権の実施件数	ライセンス供与数	国際標準への寄与	プロトタイプ作成
—	—	—	—	—	—	—

3.3 利用技術開発

3.3.1 利用技術開発

ASNARO-1 衛星の画像データは石油資源探査の効率化や、既存鉱区の権益確保のための情報収集に利用することが想定される。その際、既存 GIS 情報との重ね合わせによる高度な地理情報分析や、DSM による地形情報取得が主な利用用途であると考えられる。そこで、画像プロダクトの解析にあたり、総合システム開発仕様書に規定されている、付加価値プロダクト品質特性と撮像画像処理（高次処理）機能を確認した。

また、通常の衛星画像はシーン単位に分割して配布されるが、ASNARO-1 衛星の画像は高解像度のため中解像度衛星画像よりも容量が大きく、そのハンドリングにはメモリやハードディスクといったコンピュータ資源を必要とする。航空写真画像でも同様の問題が生じるが、既存の航空写真画像販売サービスでは国土基本図の図郭で切り出されたモザイク画像を提供することによってユーザの利便性向上を図っていることが多い。このような状況を考慮した利用上の課題と対応策について、表 3.3.1-1 として整理する。

表 3.3.1-1 画像利用上の課題とその対応

課題	課題（詳細）	対応策	対応策（詳細）
画像の 倒れこみ	地球観測衛星は撮像する角度が付いているため、急峻な山地地域において画像に倒れこみが発生する。画像に倒れこみが発生すると現状把握が難しくなるばかりでなく、GIS データとの重ね合わせができなくなる。	オルソプロダクトの 生成	地形による画像の倒れこみを解消する為にオルソ補正を検証。 オルソ画像をもとに現状把握や地図との重ね合わせ表示を実証。
標高の 把握	画像プロダクトによる地表面現状把握の実施後、現地調査のための車両通行可否を把握する必要がある。 地形を分析することで、石油資源の有無や埋蔵量の変化の把握につながる。	DSM の生成	現地の標高情報を得るために撮像成果から標高データ（DSM）の生成を検証。 生成した標高データが現地調査に資するデータとなることを実証。
撮像範囲の 全体把握	提供される画像プロダクトは 1 シーン毎に分割されている。位置合わせの手間やソフトウェアでの画像読み込みに時間を要する。 撮像された範囲を広域的に把握することが困難である。	モザイクプロダクト の生成	撮像された各シーンをつなぎ合わせるモザイク処理を検証。 各シーンをつなぎ合わせて全体把握を実証。

3.3.2 オルソプロダクトの生成（平成 29 年度）

ASNARO-1 衛星の特長として、ポインティング角の設定自由度が高く、他衛星よりも大きく斜め方向から撮像することができる。これは撮像頻度を高める効果をもたらすが、角度がついていることによって急峻な山地地域において画像に倒れこみが発生する弊害がある。画像に倒れこみが発生すると現状把握が難しくなるばかりでなく、GIS データとの重ね合わせができなくなることから、地形による画像の倒れこみを解消する為にオルソ補正を検証することが必要である。

3.3.2 (1) 対象地域

対象地域（図 3.3.2-1）は、愛知県豊田市及びカナダ国サスカチュワン州オックスボーとした。ここでカナダ国の対象地域は油井やパイプラインが多く分布している地域として選定した。

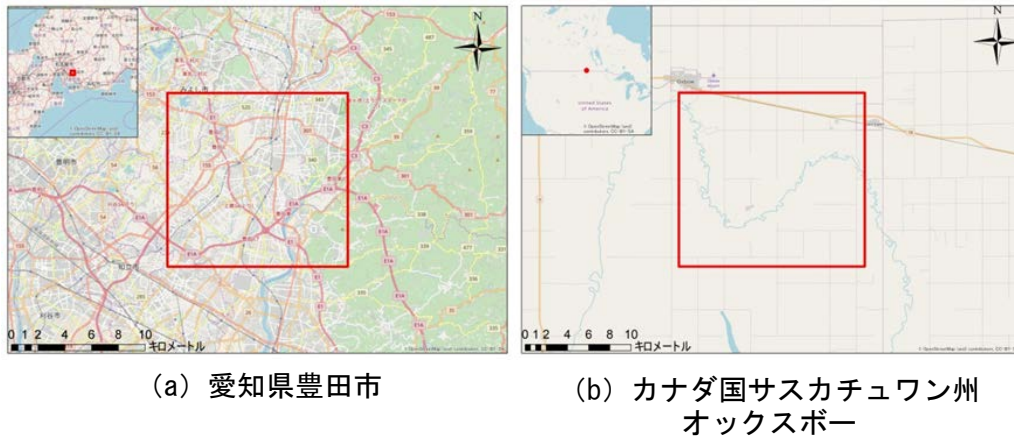


図 3.3.2-1 対象地域

3.3.2 (2) 処理の流れ

ASNA0-1 衛星のパンクロマチック画像に対して既存の DEM を用い、オルソ幾何学補正を実施した。処理のながれを図 3.3.2-2 に示す。ここでセンサの画面距離・レンズ歪み・ピクセルサイズに関する内部標定パラメータ並びに撮像したときの衛星位置・姿勢に関する外部標定パラメータの調整計算は行わず、センサ固有部から出力される RPC を用いた。

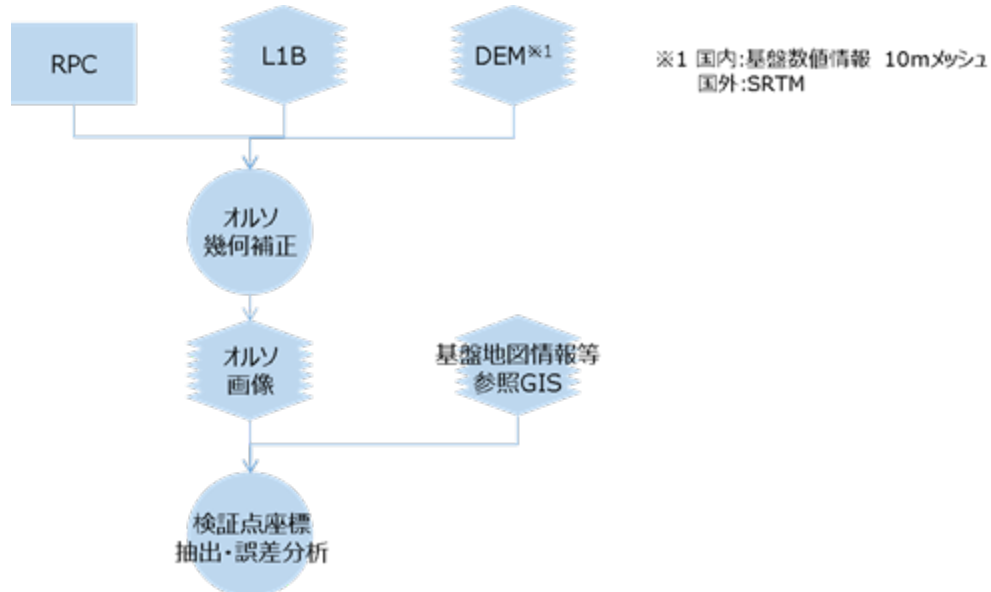


図 3.3.2-2 オルソ画像処理のながれ

3.3.2 (3) 成果

基準となる既存 GIS データとオルソ画像を比較し、水平精度を検証した。基準とした GIS データは、豊田市に関しては国土地理院の基盤地図情報道路縁データを用い、カナダに関しては The Government of Canada and Natural Resources Canada の道路中心線データを用いた。オルソ画像と既存 GIS データを重ね合わせた結果をそれぞれ図 3.3.2-3 及び図 3.3.2-4 に示す。同図はオルソ画像と既存 GIS データの位置関係を示しており、定性的な水平精度を確認することができる。同図の拡大を見ると、オルソ画像と既存 GIS データの間に水平位置のずれ（残差）があることが確認できる。

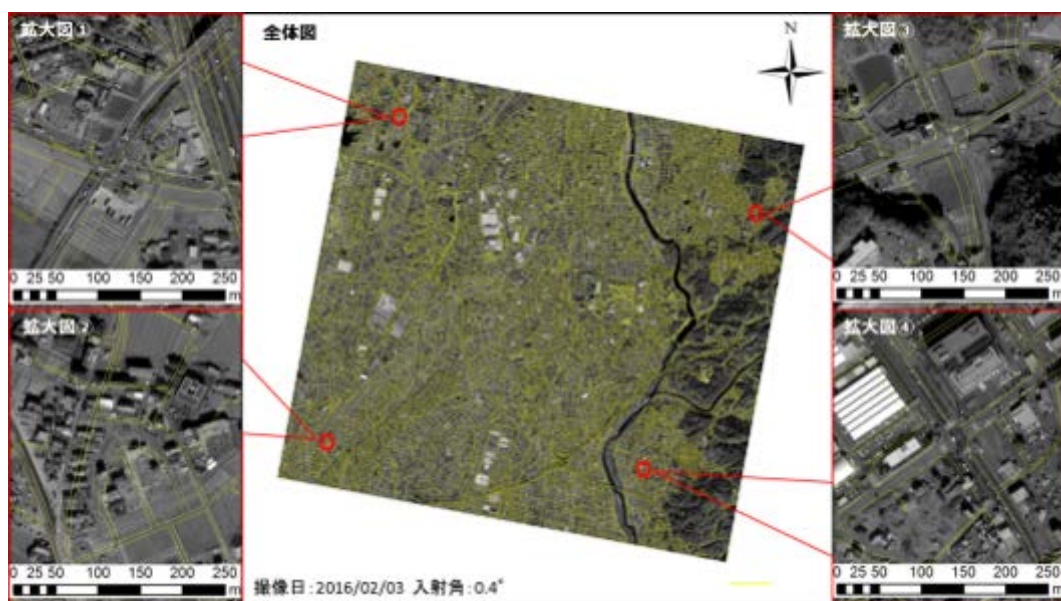


図 3.3.2-3 オルソ画像と既存 GIS データの重ね合わせ結果（愛知県）

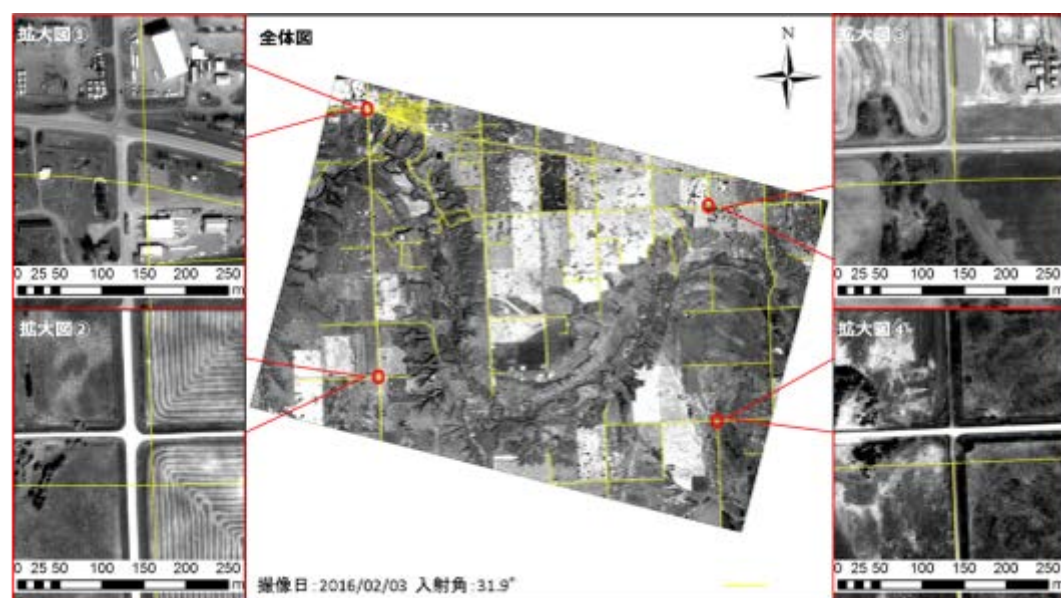


図 3.3.2-4 オルソ画像と既存 GIS データの重ね合わせ結果（カナダ国）

次に、検証地点を設け、水平精度の定量的検証を行った。検証地点は図 3.3.2-5 及び図 3.3.2-6 に示すポイントの位置とし、愛知県で 100 地点を、カナダ国で 39 地点を設定した。豊田市においては、既存 GIS データが道路縁であるため、拡大図に示したように、交差点の角を検証点とし、オルソ画像と既存 GIS の残差を分析した。ここで、基盤地図情報道路縁データは都市計画区域内で 2.5m 以内の水平精度を有する。

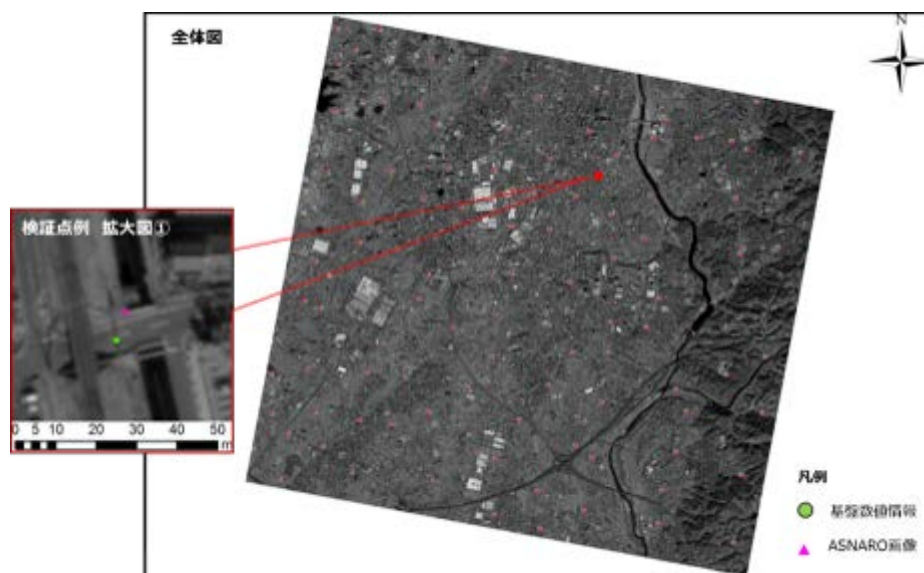


図 3.3.2-5 オルソ画像と既存 GIS データより取得した検証点（愛知県）

また、カナダ国の GIS データは道路中心線データのため、交差点中央を検証地点としてオルソ画像と既存 GIS の残差を分析した。ここで、The Government of Canada and Natural Resources Canada の道路中心線データは縮尺 1/50,000 相当の GIS データである。

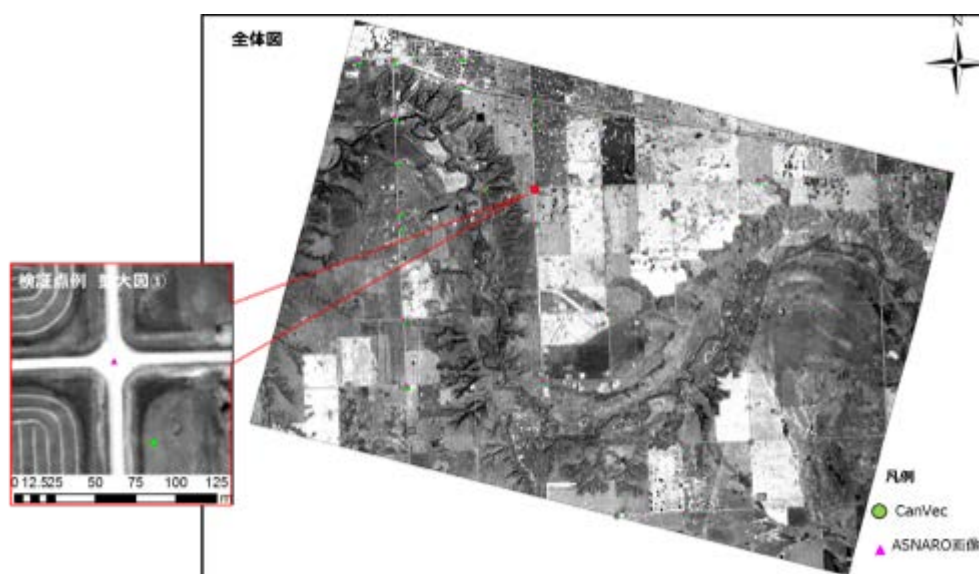


図 3.3.2-6 オルソ画像と既存 GIS データより取得した検証点（カナダ国）

分析により得られた水平精度を、既存の衛星オルソ画像の水平精度と比較した。その結果を表 3.3.2-1 に示す。ここで既存の衛星オルソ画像は、石油・鉱物資源探査を主たる目的として提供されている ASTER L3A 画像とした。

表 3.3.2-1 水平精度

検証項目	ASTER L3A	ASNARO-1	
		愛知県	カナダ国
GSD (m)	30	0.5	0.5
検証点数	—	100.0	39.0
平均残差 (m)	—	15.5	50.6
RMSE (m)	—	17.1	52.5
標準偏差 (m)	5 ※	7.3	11.6

※ASTER L3A の標準偏差の出席：

渡辺宏（2006）, ASTER データとその精度について, 日本リモセン学会誌, Vol. 26, No. 1

表 3.3.2-1 を見ると、水平精度（標準偏差）は ASTER L3A よりも悪いものとなった。しかし、「デジタルオルソ作成のための公共測量作業マニュアル」（国土交通省国土地理院、2004）で規定されたオルソ画像の規格によると、地図情報レベル 10,000 の水平精度は 10.0m 以内であることとなっており、ASNARO-1 のオルソ画像は同 10,000 相当の水平精度を満足していることが確認できた。ここで地図情報レベルとは、写真図縮尺との相当関係として定義された数値であり、同 10,000 のオルソ画像は縮尺 1/10,000 の写真図として利用することができる。

さらに精度向上の可能性を検討するために、残差の特徴分析のための詳細な検証を実施した。詳細検証では、図 3.3.2-7 に示したように、画像を 9 つの区画に分け、それぞれで平均残差、RMSE 及び標準偏差を算出することとした。区画ごとに水平精度を計算した結果、中央及び東側の区画では、ASTER L3A よりも良い水平精度を得ることができ、一部の区画については地図情報レベル 2,500 相当の水平精度を満足していることが確認できた。

区画ごとに残差の方向（図中の歪方向参照）を調べると、東側の区画は東北東方向に、中央の区画は北方向に、西側の区画は北北西方向の幾何学的歪みがあることがわかった。複数の画像に対して同様の詳細検証をしたところ、図 3.3.2-7 と同じ傾向がみられたことから、ASNARO-1 衛星による画像には内部標定パラメータの精度に問題があることが示唆された。このことにより、L1V 画像の調整計算によって、標準偏差だけでなく位置正確度（絶対位置精度）を高めることも可能と考えられる。

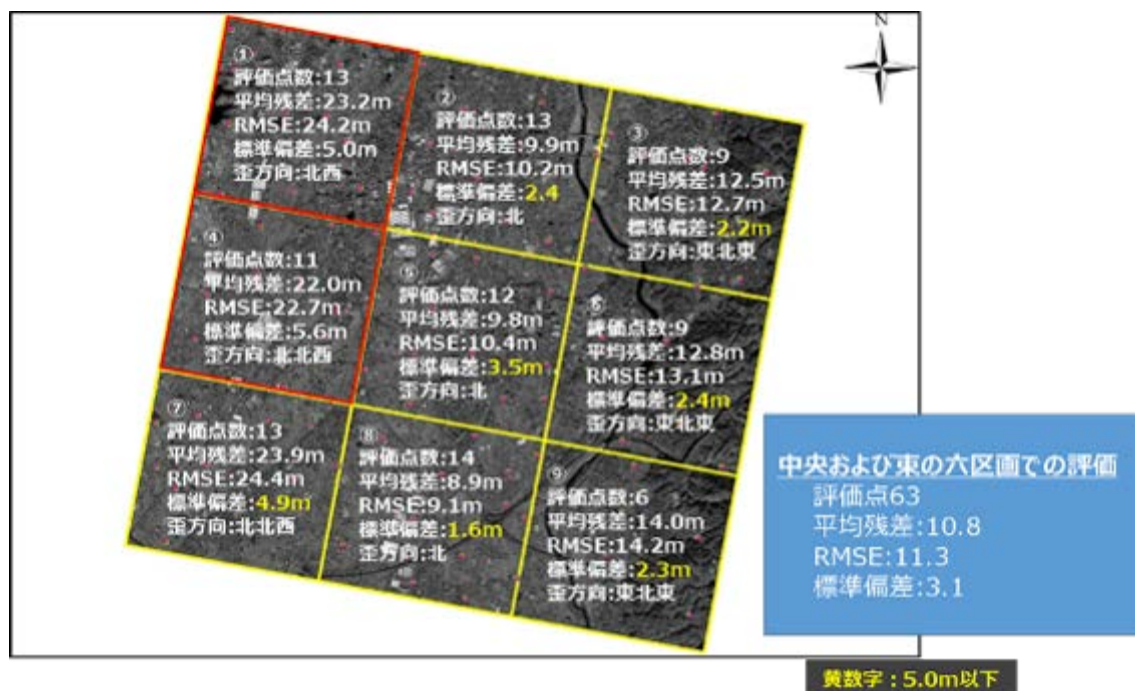


図 3.3.2-7 区画別水平精度検証結果（愛知県）

3.3.3 DSM の作成（平成 29 年度）

高分解能衛星画像データの用途として、地表面現状把握の実施後に現地調査のための車両通行可否を把握することが考えられる。また、詳細な地形を分析することで、石油資源の有無や埋蔵量の変化の把握につながる。そこで、標高情報を得るために撮像成果から標高データ（DSM）を生成し、現地調査に資するデータとなりうることを実証した。

3.3.3 (1) 対象地域

対象地域は、オルソ画像で水平精度の検証を行った愛知県豊田市及びカナダ国サスカチュワン州

オックスポーと同じ地域とした。

3.3.3 (2) 処理の流れ

DSM 画像はステレオ画像セットのマッチングにより作成した。処理の流れを図 3.3.3-1 に示す。ここでセンサの画面距離・レンズ歪み・ピクセルサイズに関する内部標定パラメータ並びに撮像したときの衛星位置・姿勢に関する外部標定パラメータの調整計算は行わず、センサ固有部から出力される RPC を用いた。そのため、作成された DSM 画像には水平位置の系統的なずれ（残差）が含まれているものと考えられた。そこで、別途作成したオルソ画像（パンクロマチック）と既存 GIS データの水平位置誤差を分析し、分析結果に基づいて DSM 画像を一次アフィン変換し、残差が最少となるように調整した。またパンクロ画像の GSD0.5m に対して余裕を持たせ、DSM 画像の GSD は 3.0m とした。

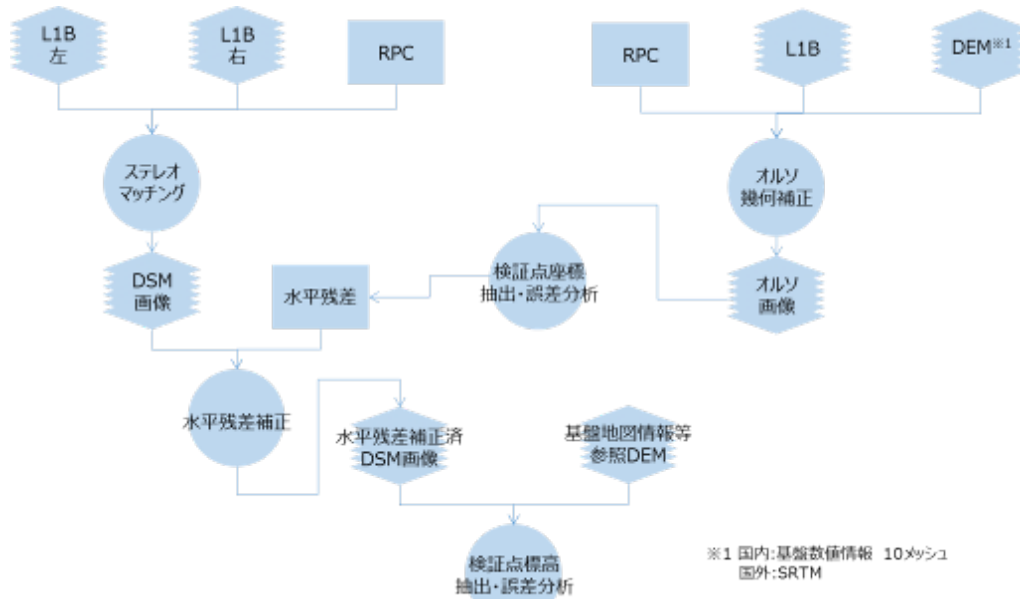


図 3.3.3-1 DSM 作成処理の流れ

3.3.3 (3) 水平残差の補正

豊田市に関して、オルソ画像上に DSM 画像を重ね合わせ表示した結果を図 3.3.3-2 に示す。ここで DSM 画像は半透明にして重ね合わせており、暖色になるほど高さが高いことを示している。拡大図①を見ると、中高層建物の位置や形状が DSM 画像とオルソ画像で一致していることがわかる。また拡大図②を見ると、高速道路のジャンクションの位置や形状が DSM 画像とオルソ画像で一致していることがわかる。このことから、ステレオマッチングによる DSM 画像の水平残差が正しく補正されているとともに、高さ変化の傾向が実際の地形や地物を良く表していることが定性的に実証できたものと考えられる。

次に、別途作成したオルソ画像（パンクロマチック）と既存 GIS データの水平位置誤差の分析結果に基づいて DSM 画像の一次アフィン変換を行い、残差が最少となるように DSM 画像の水平位置を補正した。愛知県の DSM 画像に含まれる水平残差を補正した結果を図 3.3.3-3 に示す。ここで残差の補正に用いた基準 GIS データは、国土地理院の基盤地図情報道路縁データであり、これは都市計画区域内で 2.5m 以内の水平位置精度を有する。

DSM 画像の中央には東西方向に配置された橋梁があるが、基準 GIS データ中の橋梁と DSM 画像中の橋梁位置には、南北方向の残差があることがわかる。一次アフィン変換した結果、南北方向の残差は小さくなり、基準 GIS データと DSM 画像がほぼ一致している。

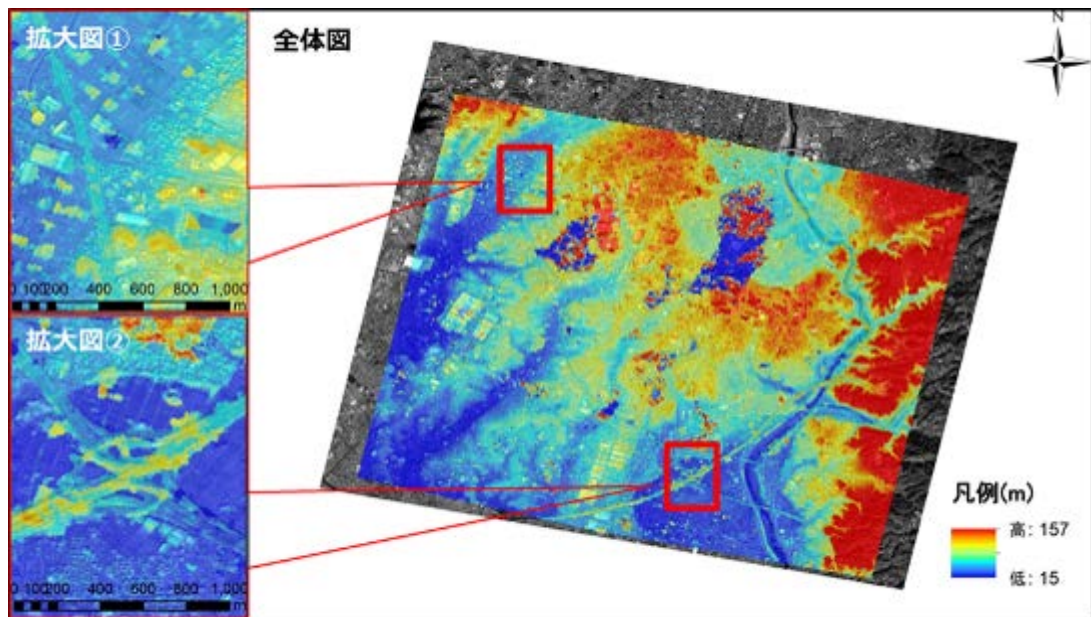


図 3.3.3-2 DSM 画像とオルソ画像の重ね合わせ結果（愛知県）

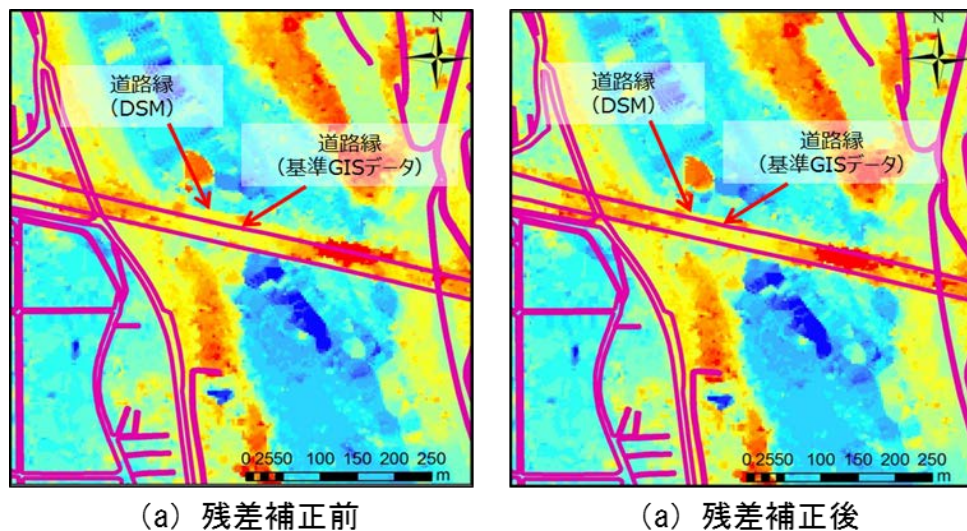


図 3.3.3-3 DSM 画像の残差補正結果（愛知県）

同様に一次アフィン変換しカナダの DSM 画像に含まれる水平残差を補正した結果を図 3.3.3-4 に示す。ここで残差の補正に用いた基準 GIS データは、The Government of Canada and Natural Resources Canada 道路中心線データであり、縮尺 1/50,000 レベルで整備されている。DSM 画像中央にある赤い部分が家屋であり、濃い青色で南北に延伸する道路中心線と伺える。この位置を基準 GIS データの道路中心線位置と比較すると東西方向の残差があることがわかる。DSM 画像の水平位置を補正した結果、東西方向の残差は小さくなり、基準 GIS データと DSM 画像がほぼ一致している。

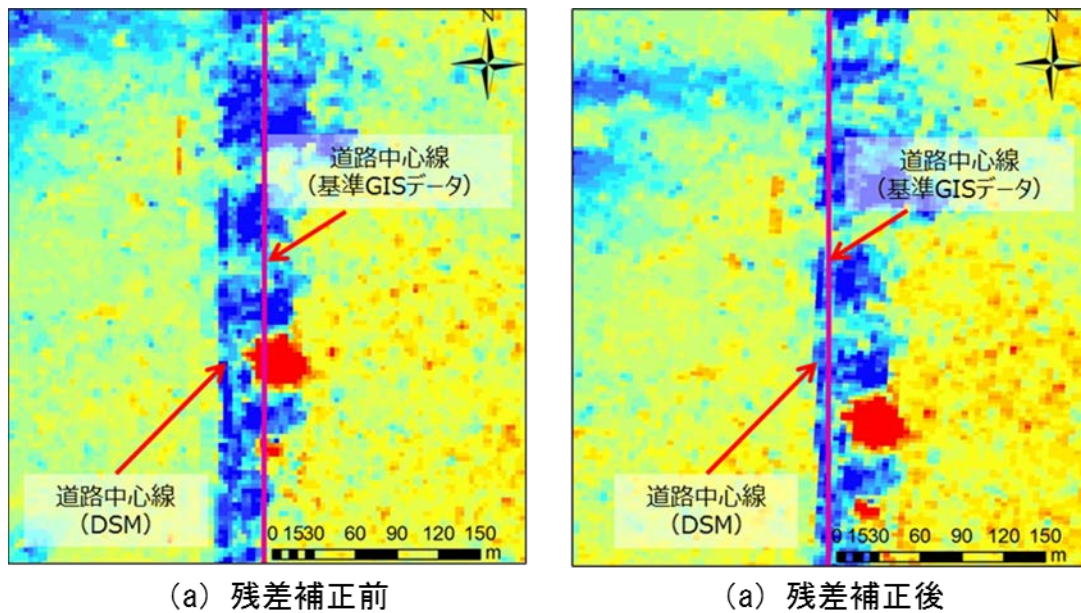


図 3.3.3-4 DSM 画像の残差補正結果（カナダ）

3.3.3 (4) 成果

水平残差を補正した DSM 画像と基準標高画像を比較し、高さ精度を検証した。基準とした標高画像は、豊田市に関しては国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル（10m メッシュ）を用い、カナダに関しては SRTM（90m メッシュ）を用いた。

検証を実施するにあたり、図 3.3.3-5 及び図 3.3.3-6 に示す通り、豊田市で 40 地点の検証点を、カナダ国で 50 地点の検証点を設けた。ここで、グラウンドや農場等の周囲の建物等の影響を受けない場所を検証点に設定した。

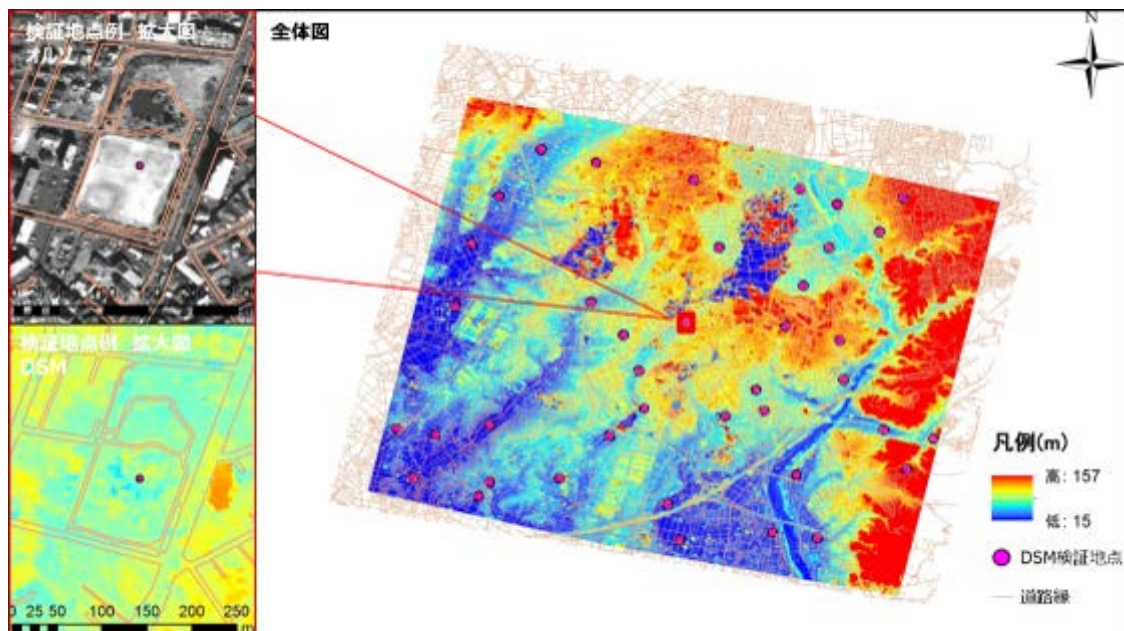


図 3.3.3-5 高さ精度検証地点（豊田市）

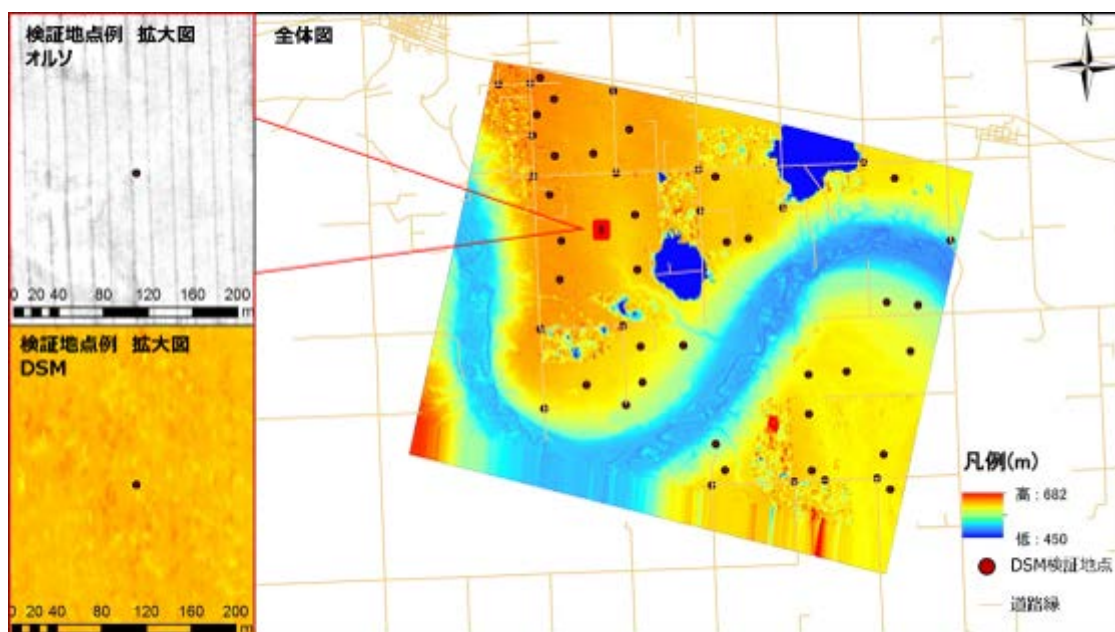


図 3.3.3-6 高さ精度検証地点（カナダ）

豊田市及びカナダ国での高さ精度に関しても水平精度と同様に、石油・鉱物資源探査を目的として整備された ASTER 衛星の成果品（GDEM）と比較した。比較結果を表 3.3.3-1 に示す。

表 3.3.3-1 高さ精度

検証項目	ASTER GDEM	ASNARO-1	
		愛知県	カナダ国
GSD (m)	30	3.0	3.0
検証点数	—	40.0	50.0
平均残差 (m)	—	20.5	13.8
RMSE (m)	—	21.1	14.3
標準偏差 (m)	7~14※	4.9	3.4

ここで愛知県の標準偏差は 4.9m、カナダ国の標準偏差は 3.4m だった。GDEM の標準偏差は 7.0m～14.0m であり、ASNARO-1 衛星画像で整備できる DSM 画像によって GDEM を高解像度かつ高精度で更新することが可能であることを実証できた。また、オルソ画像の項で述べたように、L1V 画像の調整計算をすることによって水平位置正確度を高めることができる可能性がある。このことは、ステレオマッチングの精度向上にも寄与すると考えられ、DSM 画像のさらなる高精度化が期待できる。

※ASTER GDEM の標準偏差の出展：ASTAER 全球 3 次元地形データより

<https://ssl.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/J/2.html>

3.3.4 モザイクプロダクトの生成（平成 29 年度）

ASNARO-1 衛星画像データとして提供するプロダクトは 1 シーン毎に分割されているものを対象とし、1 シーンを超える面積の対象領域を取り扱う際には。シーン間位置合わせの手間やソフトウェアでの画像読み込みに時間を要する。このように、広域を対象とした場合には撮像された各シーンをつなぎ合わせるモザイク処理が必要とされる場合がある。そこで、各シーンをつなぎ合わせたことにより、広域把握の有用性について実証した。

3.3.4 (1) 対象地域

対象地域はカナダ国サスカチュワン州オックスボー及び中国新疆ウイグル自治区トルファン地区とした。両地域は石油ガス関連施設が多く立地しており、油井やパイプラインが多く分布している地域として選定した。

3.3.4 (2) 処理の流れ

当該地域を複数回にわたり撮像を実施した。撮像された画像の中で、天候の良い画像選び、ERDAS Imagine でシーン間の色を調整し、さらにモザイク処理を行った。

3.3.4 (3) 成果

カナダ国のモザイク前後の画像を図 3.3.4-1 に示す。ここでモザイク処理には 4 ストリップの画像を用い、作成したモザイク画像の範囲は南北約 30km、東西約 40km となった。

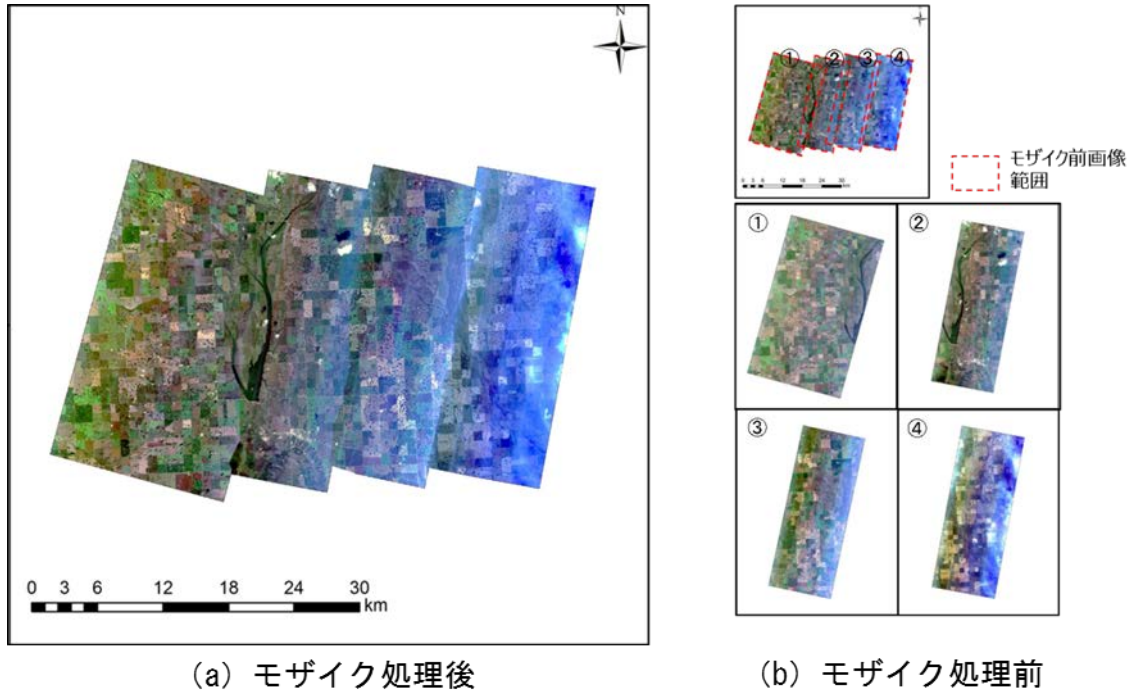


図 3.3.4-1 モザイク処理画像（カナダ国）

同様に、中国のモザイク前後の画像を図 3.3.4-2 に示す。ここでモザイク処理には 2 ストリップの画像を用い、作成したモザイク画像の範囲は南北約 30km、東西約 20km となった。

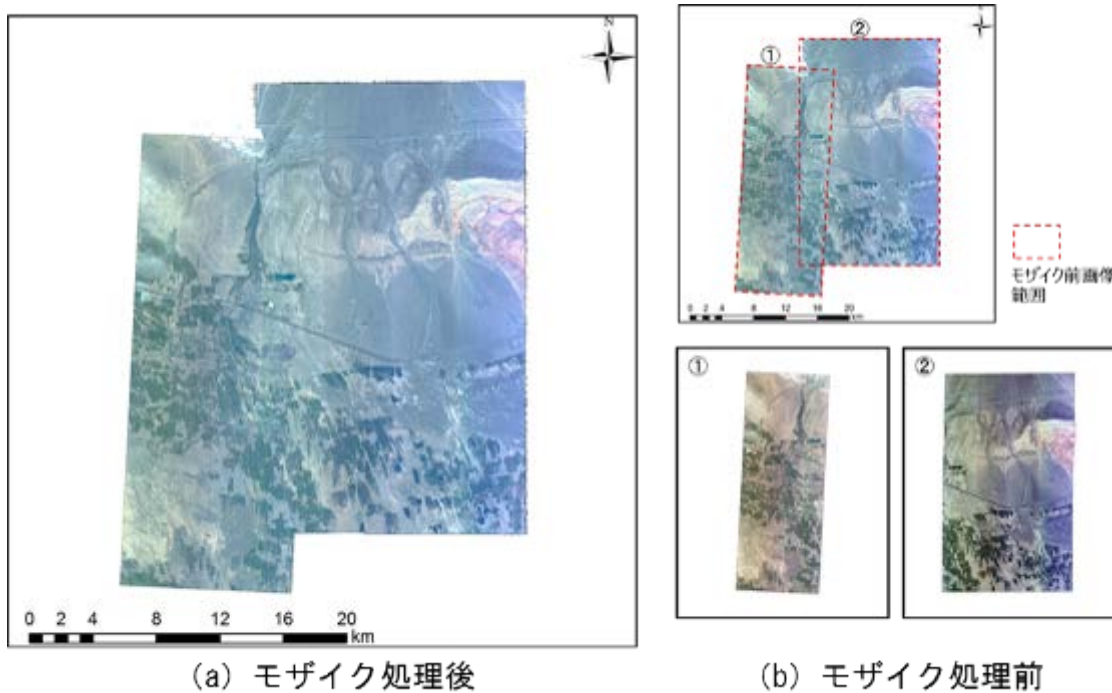


図 3.3.4-2 モザイク処理画像（中国火焰山）

次に、石油資源探査を目的とした広域インフラ情報の把握を想定した画像地図の作成例を図 3.3.4-3 及び図 3.3.4-4 に示す。画像地図には、画像から判読した油井やパイプラインなどの情報も表示している。ここで油井やパイプラインは ASNARO-1 衛星画像を参照情報として、目視判読によって抽出したものである。

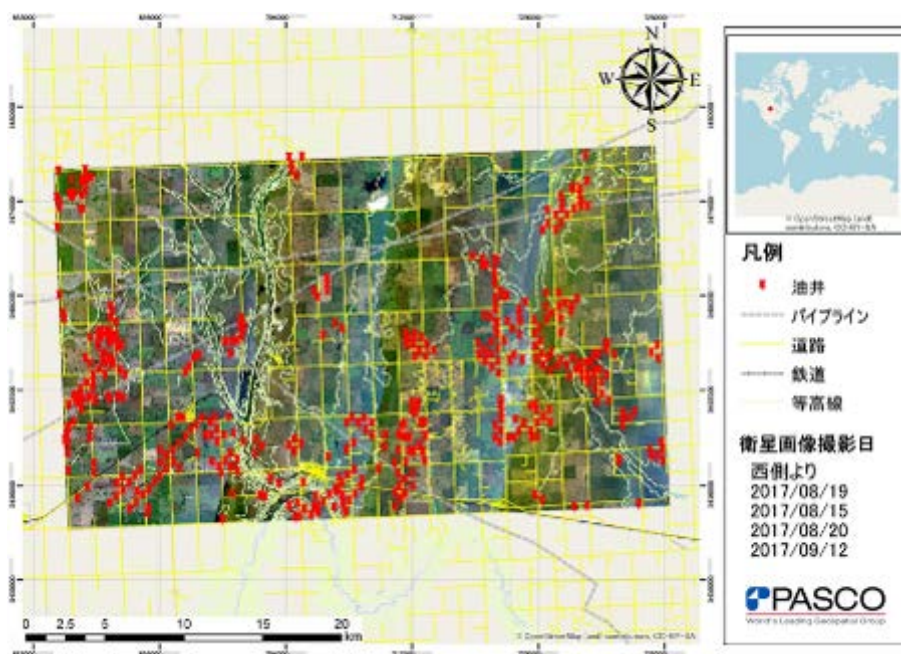


図 3.3.4-3 画像地図作成例（カナダ国）

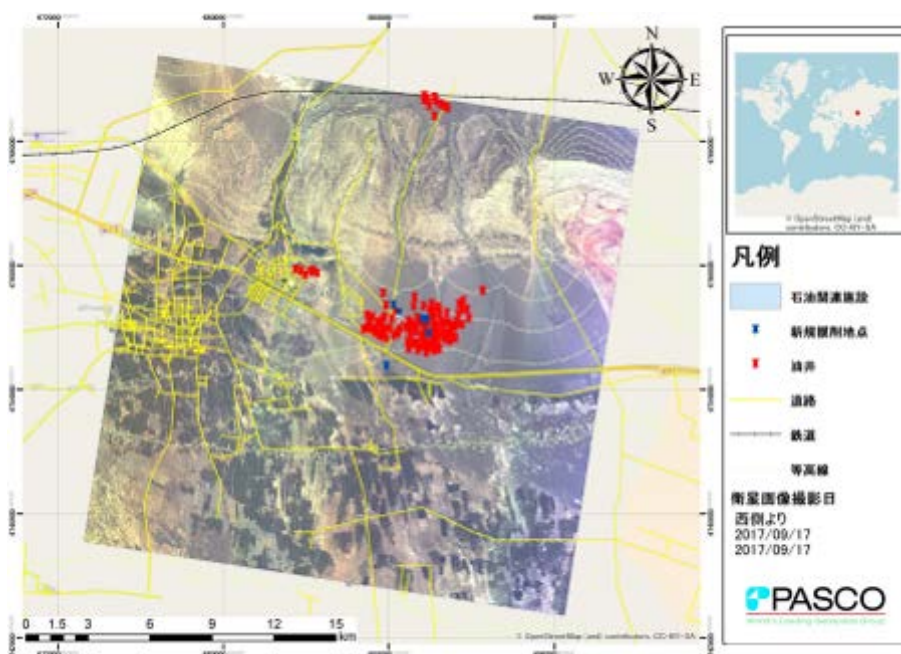


図 3.3.4-4 画像地図作成例（中国火焰山）

油井やパイプラインの拡大画像を図 3.3.4-5 に示す。これを見ると、ASNARO-1 衛星の解像度であれば、石油関連施設の配置だけでなく、その種類を同定できることがわかる。さらに、同施設を高頻度にモニタリングすることによって施設の稼働状況を把握することもでき、既存鉱区の権益確保のための情報収集に活用することができる。

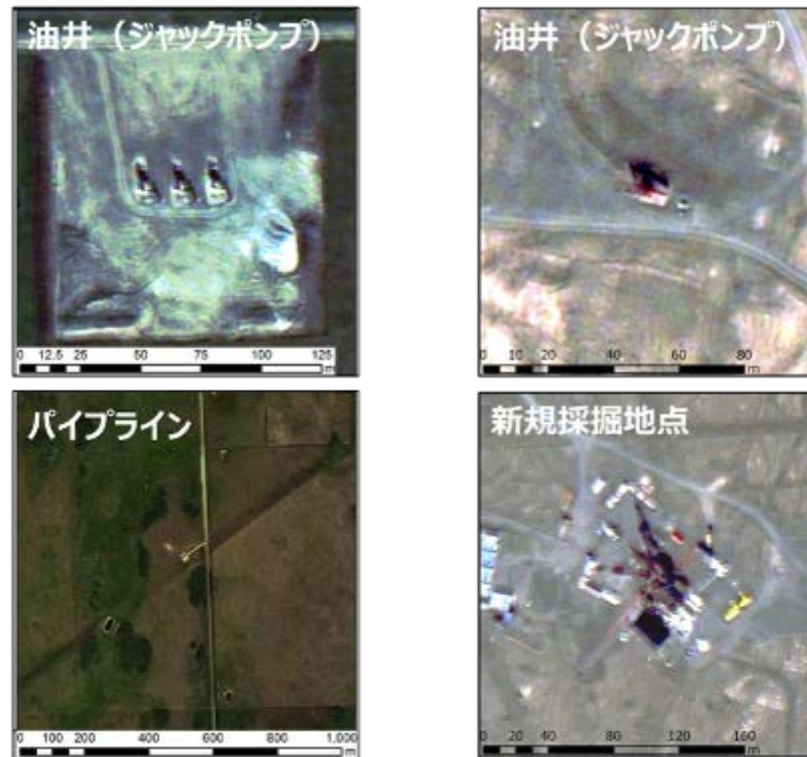


図 3.3.4-5 画像判読例（左：カナダ国 右：中国火焰山）

モザイク画像を作成することにより、広域インフラ情報の把握・整備が可能であることを実証できた。そこで、同様のモザイク画像を民間の商用高解像度衛星で生成するとしたときの、画像撮像に係るコストを比較した。比較した結果を表 3.3.4-1 に示す。ここで ASNARO-1 衛星の画像単価は、収支モデルの検討結果をもとに 1,900 円/km² とした。また、民間高解像度衛星は仏国 AIRBUS 社の Pleiades 衛星を想定し、決められた期限内に決められたカバレッジを撮像する ONE PLAN で撮像した場合のコストを計算した。ONE PLAN の画像単価は標準観測で 3,000 円/km² であり、ASNARO-1 衛星の約 1.6 倍である。中国火焰山で 909 千円、カナダ国で 1,637 千円の撮像コスト低減を図ることがわかる。

表 3.3.4-1 撮像コストの比較

項目	中国火焰山	カナダ国
モザイクに使用したシーン数	2	4
モザイク出力面積 (km ²)	826	1,488
全撮像シーン数	4	7
①ASNARO-1 のコスト (千円)	1,569	2,827
②Pleiades のコスト (千円)	2,478	4,464
コスト差②－① (千円)	909	1,637

3. 当省(国)が実施することの必要性

(1) A S T E R

本事業は以下の①～⑤の全てを満たすため、当省（国）において、当該事業を実施することが必要である。

- ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合
⇒本研究開発は、世界最先端の衛星の長期間運用・そのデータ処理・利用技術開発と、技術的に高い難易度を有している。
- ②環境問題への先進的対応等、民間企業では市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合

- ⇒本研究開発は、知的基盤の整備を目的としているため、ミクロの市場原理が働かない。
- ③標準の策定、データベース整備等知的基盤の形成に資する研究開発の場合
- ⇒本研究開発は、全球を観測する衛星データとその利用技術という、重要な知的基盤の整備を目的としている。
- ④国の関与により異分野連携、産学官連携等が進展し、研究開発活動に新たな付加価値が見込まれる場合
- ⇒本研究開発により提供される衛星データと利用技術は、幅広い分野において利用され、新たな価値を創造する。
- ⑤その他、科学技術的価値となる卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合
- ⇒本研究開発は、世界最先端の衛星データを提供するため、科学技術的価値として卓越性・先導性を有している。

(2) ASNARO-1

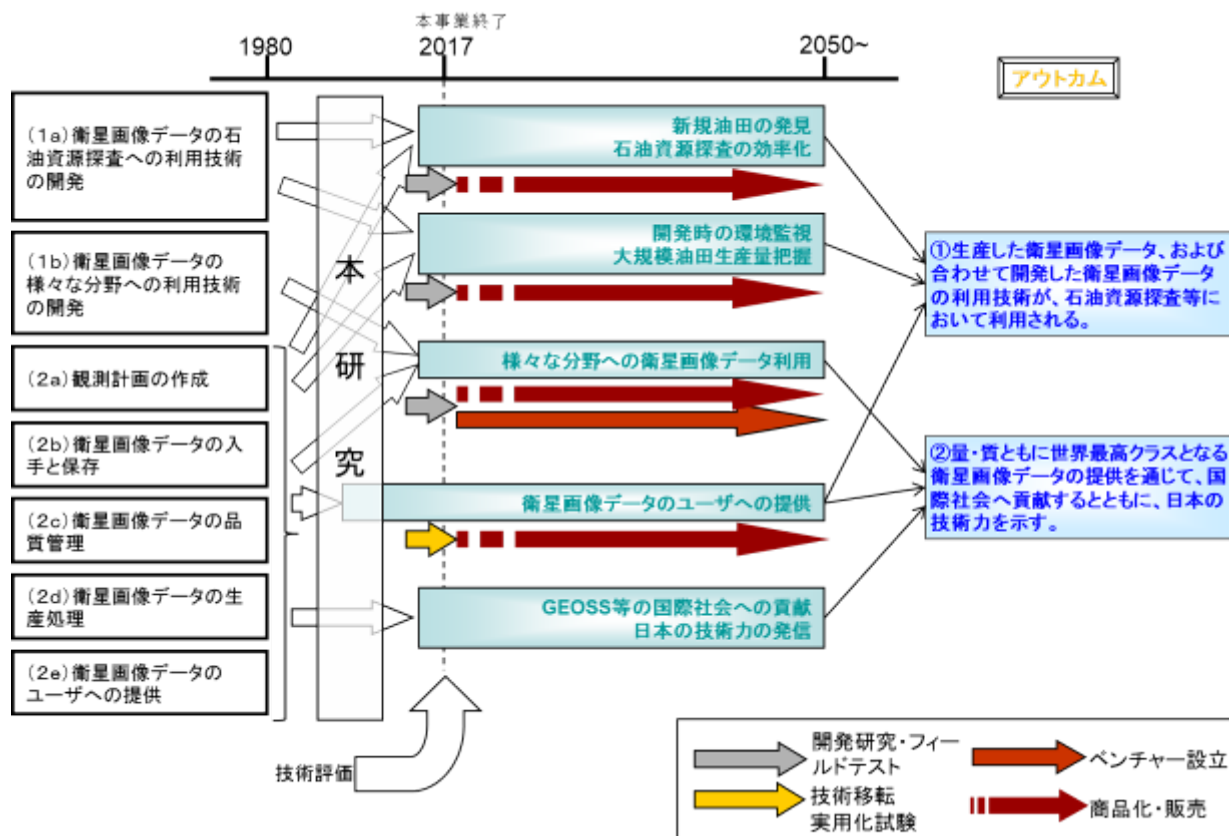
当該研究開発課題（本プロジェクト）を実施するには、実施者（民間）と石油資源に関連する機関が参画する必要があり、当省においては以下の理由により、実施することが必要であった（表 4-1）。

表 4-1 当省が実施することの必要性

理由	詳細
実証国の選定	石油資源のポテンシャルのある国を ASNARO-1 衛星で観測する必要があるが、民間企業の判断だけでは実証国を選定するのは困難であった。本事業を国が実施することにより、機微情報である石油資源のポテンシャルのある国の選定及び衛星による観測を可能とする。
高い技術難度	石油資源探査については、高い技術難度が求められ、石油資源に関連する機関の本事業への参画が不可欠であった。
異分野連携	本事業は「石油資源確保」と「宇宙利用促進」の事業目的が設定されており、「エネルギー政策」と「宇宙政策」を所管している経済産業省（国）で実施する必要があった。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

(1) A S T E R



事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

(2) A S N A R O - 1

最近の石油ガス資源開発業界では、探鉱開発に必要な作業はアウトソーシングされ、それを専門に実施する石油サービス会社が作業を請け負う傾向にある。石油ガス探査手法の成果を利用する主体は、資源エネルギー戦略を立案する公的機関及び国内資源企業や商社だったが、今後は石油サービス会社での利用が想定される。したがって、本事業成果のユーザも石油サービス会社が想定される。

石油サービス会社へのヒアリングによると、ASNARO-1 衛星の事業化において最も大きな阻害要因は、海外の商用高解像度衛星との競合になるものと考えられる。ASNARO-1 衛星は可視近赤外線放射計であり、短波長赤外線画像の取得や超多波長型センサでないことから、石油ガス資源開発に特化した利用技術を開発することは考えにくく、石油サービス会社の利便性を高めるための方策が必要である。具体的には、付加価値プロダクトを整備するとともに、入札前の鉱区情報などを積極的に入手し、先行的にアーカイブ画像を整備することが考えられる。特に、発生位置の特定が困難で、撮像画像が他用途に転用困難なオイルスリックに関しては、衛星撮像のためのリソースの空き状況を考慮しながら、衛星運用事業者自身の取り組みとしてのモニタリング撮像を検討することも必要である。

事業アウトカム達成に至るまでのロードマップを図 5-1 に整理する。

現在は、「HISUI-ハイパーセンサの宇宙搭載に向けた開発」を実施中であり、国際宇宙ステーションに搭載後、3-4 年のスパンで「実証データを使った、新規利用ニーズ発掘・ユーザの拡大」及び「軌道上データに基づく、高空間分解能化・小型軽量化」を図る。その後、「さらなる研究開発による①、②を実現（①センサの高空間分解能化、小型軽量化、②応用分野の拡大）」の段階に進む計画である。

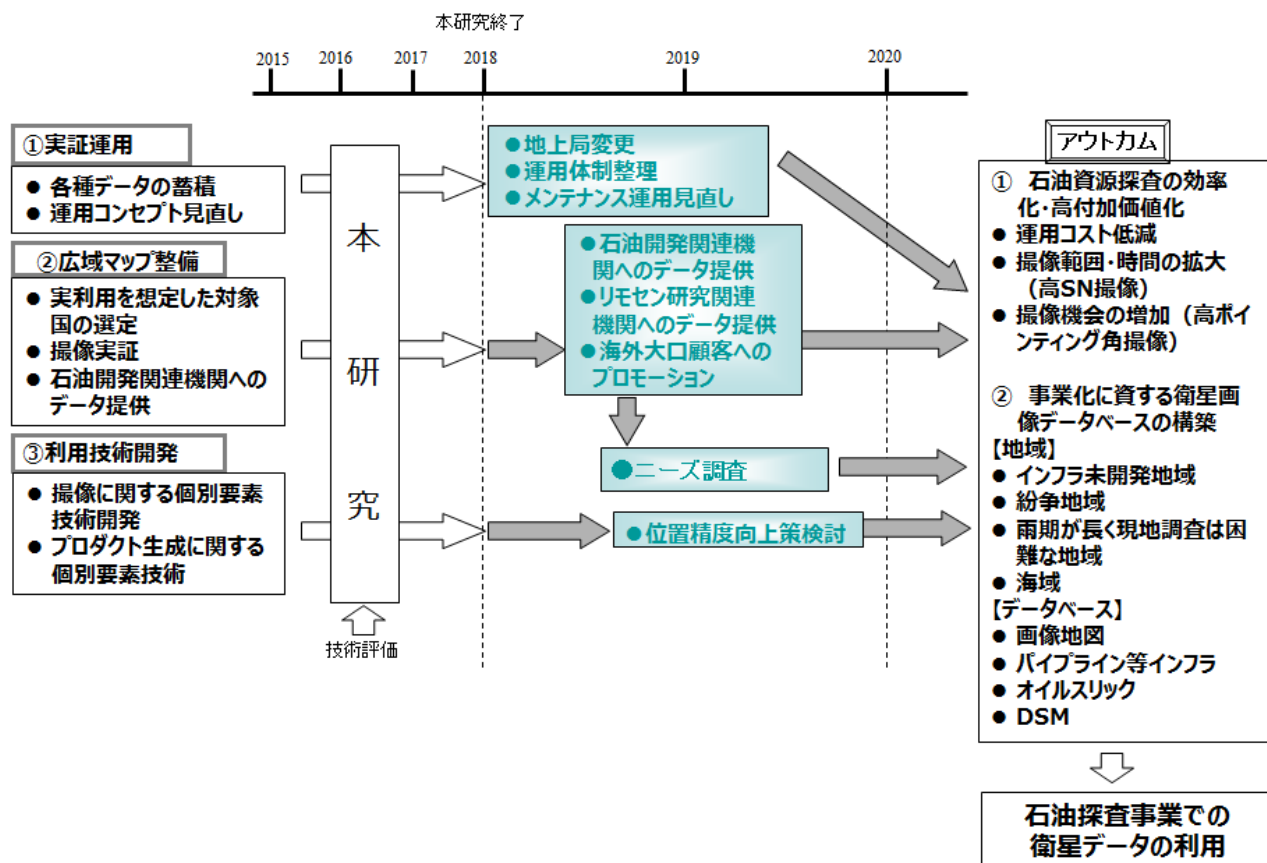
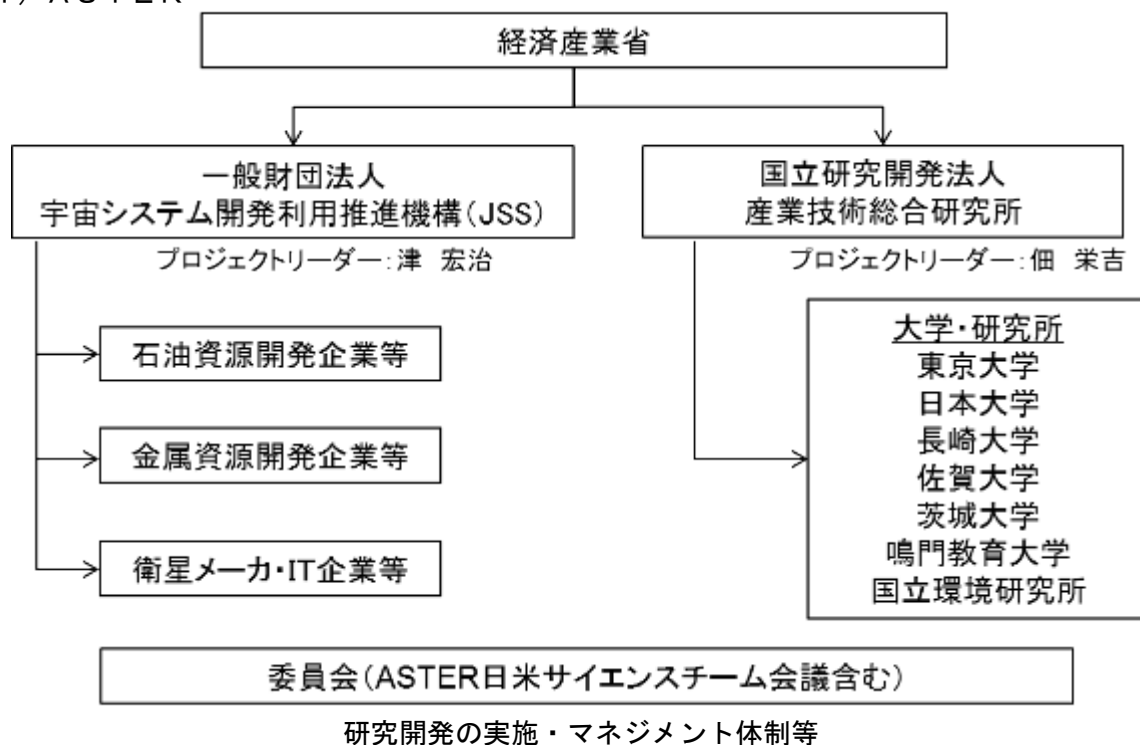


図 5-1 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) ASTER



(2) ASNARO-1

石油資源遠隔探知技術研究開発事業 (ASNARO-1 衛星による石油資源探査実施研究) の実施におい

て、有識者の意見を踏まえつつ事業を推進するため、事業の開発計画、ASNARO-1 衛星の運用状況、画像利用状況、運用計画、商業化に向けた取り組み、課題等を検討する委員会（以下、技術委員会とする）を開催した。ここで、岩崎晃氏（東京大学大学院先端科学技術研究センター教授）は委員長として、事業全般に渡って評価を担当し、岩男弘毅氏（産業技術総合研究所資質調査総合センター地質情報研究部門リモートセンシング研究グループ長）は画像校正や位置精度等について評価を担当し、白坂成功氏（慶応技術大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科教授）は衛星運用について評価を担当した。

また、石油関連機関も参画し、ASNARO-1 衛星画像データを提供するとともに、画像データに対する意見を事業にフィードバックした。さらに、衛星利用による石油サービス事業に精通した立場として一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構（JSS）がアドバイザーとして参画し、主に石油資源探査現場における衛星利用の実態や要望などを本事業にフィードバックした。

技術委員会は事業期間中に 3 回実施し、石油資源探査での利用を想定した運用やデータ処理技術について検討した。

これらのマネジメント体制を図 6-1、技術委員会開催実績を表 6-1 に整理する。

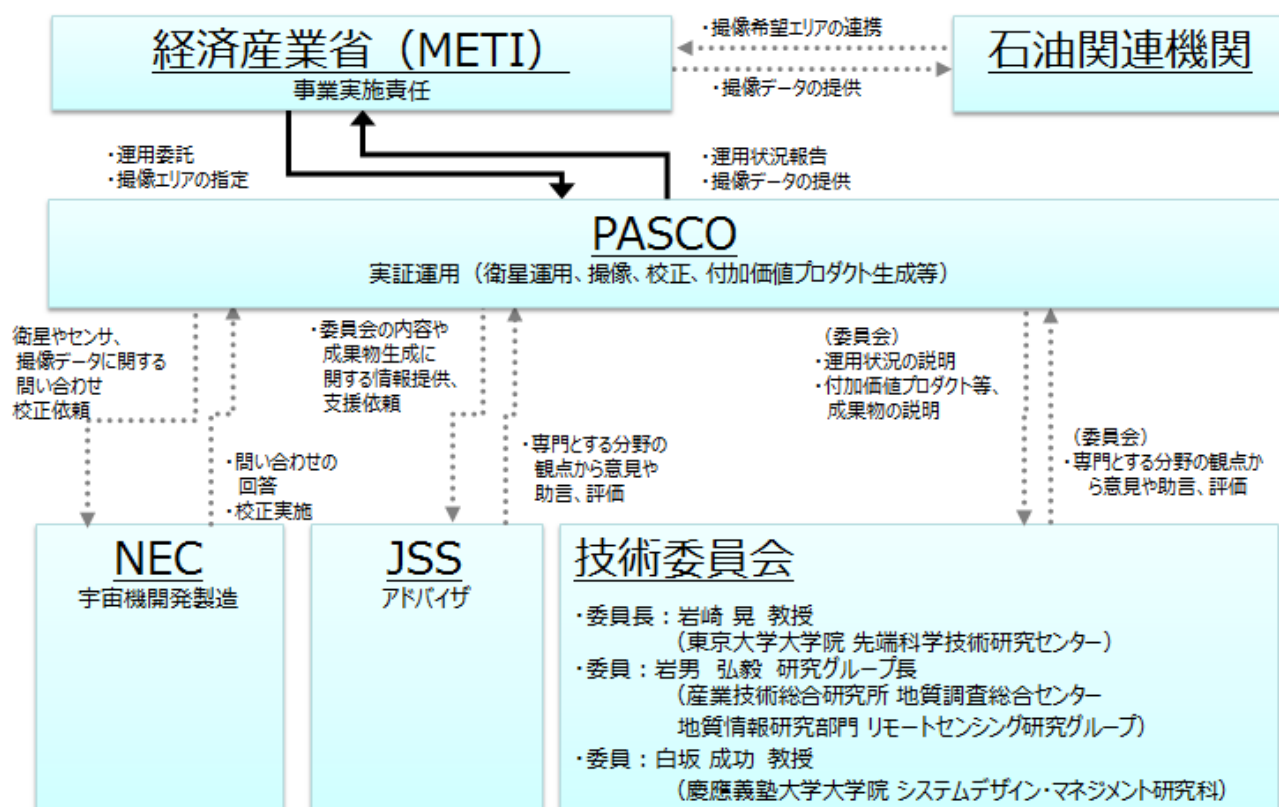


図 6-1 マネジメント体制

表 6-1 技術委員会開催実績

日時	会議名	主な議事
2016 年 12 月 15 日 (木) 10:00~12:00	平成 28 年度 第 1 回技術委員会	(1) ASNARO-1 事業概要報告 (2) ASNARO-1 運用実績・計画報告 (3) 資源探査分野における利用状況報告 (4) 資源探査分野における商業化に向けた取り組み等 (5) 資源探査分野以外での利用に関する報告 (6) パスコデータセンター視察 (7) 委員評価

2017 年 3 月 3 日 (金) 10:00~12:00	平成 28 年度 第 2 回技術委員会	(1) ASNARO-1 運用結果報告 (2) 資源探査分野における利用結果報告 (3) 資源探査分野における商業化に向けた課題等 (4) 資源探査分野以外での利用に関する報告 (5) 委員評価
2017 年 12 月 24 日 (金) 10:00~11:40	平成 29 年度 第 1 回技術委員会	(1) ASNARO-1 事業概要報告・運用計画・実績報告 (2) 運用実績報告 (3) 付加価値プロダクトの生成・検証と石油資源探査における利活用 (4) 成果物確認 (5) 高ボイニング角撮像及び高 S/N 撮像について (6) 成果物確認 (7) 委員評価

6. 費用対効果

(1) A S T E R

- 石油資源の発見あるいは石油資源探査の効率化による効果
 - ✓ 新規油田の発見・開発が実現した場合、数兆円～数十兆円の経済効果が期待される。事業終了時において新規油田の発見は実現していない。(現時点の経済効果は0円)
 - ✓ 衛星データの利用による費用削減効果は、一案件当たり数億円～数十億円となる。事業終了時における利用案件数：16件 × 十億円 = 経済効果は160億円
その後の利用案件数（推定） 年2件 × 十億円 = 経済効果は20億円／年
- その他の分野における利用による効果
 - ✓ 金属鉱物資源
カセロネス銅鉱山「年400億円台の利益貢献を見込む」
 - ✓ 環境
 - ✓ 防災
- 利用以外に本事業を通じて技術が得られたことによる効果
 - ✓ 本事業を通じて得られた技術を他事業に展開（以下は一例）
 - 大量データ処理システムの構築・運用する技術
 - 衛星画像データから地形データを作成する技術
- 学術的な成果による効果
ASTER・PALSARに関連した論文発表の掲載数は事業終了時で300件超／年

参考：外部公開資料による経済効果の算定

ASTER と同型衛星センサである Landsat の経済効果分析によると、その経済効果は米国内で \$1.70billion、国際的に\$400million、合計\$2.19billionと評価されている。

利用分野	データ利用による節約効果
1. USDA Risk Management Agency	over \$100 million
2. U.S. Government Mapping	over \$100 million
3. Monitoring Consumptive Agricultural Water Use	\$20 - \$80 million
4. Monitoring Global Security	\$70 million
5. Landsat Support for Fire Management	\$28 - \$30 million
6. Forest Fragmentation Detection	over \$5 million

7. Forest Change Detection	over \$5 million
8. World Agriculture Supply and Demand Estimates	over \$3 - \$5 million
9. Vineyard Management and Water Conservation	\$3-5 million/year
10. Flood Mitigation Mapping	over \$4.5 million
11. National Agricultural Commodities Mapping	over \$4 million
12. Waterfowl Habitat Mapping and Monitoring	\$1.9 million/year
13. Coastal Change Analysis Program	\$1.5 million
14. Forest Health Monitoring	\$1.25 million
15. NGA Global Shoreline	over \$90 million (one time)
16. Wildfire Risk Assessment	\$25-50 million (one time)

引用資料：

National Geospatial Advisory Committee – Landsat Advisory Group1

The Value Proposition for Landsat Applications – 2014 Update

<https://www.fgdc.gov/ngac/meetings/december-2014/ngac-landsat-economic-value-paper-2014-update.pdf>

(2) ASNARO-1

◆前提条件

- 投入された国費総額：12.9 億円（平成 27 年～平成 29 年第 3 四半期）
- ASNARO-1 の設計寿命を平成 31 年度までとする
- 平成 29 年度第 4 四半期より商業化がスタート

◆主な効果

- 石油資源探査の効率化
 - ・ オイルスリックの目視確認が可能であることや、パイプラインの本数がわかる高精度な地図の作成等が検証できた。
 - これまでの撮像画像を利用することで広域地図の作成が可能である。
 - また、類似分解能をもつ海外衛星による新規撮像による画像整備と比較すると、コストは 55%程度となり、大幅な原価削減となる。
- 我が国の宇宙産業拡大
 - ・ 今後も撮像を継続し、過去分の撮像も含めると、年間 4000 シーン程度の画像データをユーザー市場に提供。一部はオープン＆フリー事業のプラットフォームでも提供を予定。高分解光学画像の衛星需要を喚起し、衛星画像の利活用推進に貢献。

Ⅱ. 外部有識者（評価検討会等）の評価

1. 総合評価

非常に長期間にわたるプロジェクトを進める中で、データの取得だけでなく活用に関する総合的な取組を展開し、石油資源探鉱の効率化を実現しつつある点は非常に高く評価できる。プロジェクトで醸成されたデータ活用や組織間の連携の仕組みについても後継のプロジェクトに効果的に継承されることを期待する。

鉱物・石油に係る画像の解析結果を基に開発の事業判断ができる校正システム、特に画像利用上の課題である要素技術であるオルソプロダクト（衛星画像データを正射投影に変換した製品）生成や高さ情報（DSM）データ生成技術等を開発してシステムとして構築し、その結果精度の良い画像が利用できる環境が整ったことも評価できる。また、それらの画像を利用した、インフラ整備状況やオイルスリック（海面に広がる油膜）などの環境状況の判別に利用できることを実証したことも意義深く、事業者のリソース確保・効率的な執行、リスク低減の観点から非常に有用である。

一方で、既に研究開発を終えて、実運用のフェーズに入っているからだと推察されるが、評価対象期間中の事業アウトプットで論文や特許等の共通指標の実績がない。運用上のノウハウ等についても、研究成果としてまとめることも検討されることを期待する。また、実運用における事業アウトカムを得ていると考えられるので、効果的な広報を行うことも期待する。

提供したデータが活用された事業アウトカムによって得られた総合的な費用対効果についても、可能な限り検証すべきである。本事業の高い有用性は、利用件数のみで判断できるものではないので、データが活用された結果が示されてこそ、アピールできるものと考ええる。

なお、複数の組織間のマネジメント体制に関わる相互調整を円滑に進める組織が必要だったと思われる。また、事業アウトカムが正しく記載されていない所は改善の余地がある。

【肯定的所見】

- ・（A委員）石油資源探査の実績、金属資源探査の実績、双方ともに極めて明確に開示され、日本の技術力を示していると評価する。
- ・（B委員）非常に長期間にわたるプロジェクトを進める中で、データの取得だけでなく活用に関する総合的な取り組みを展開し、石油資源探鉱の効率化を実現しつつある点は非常に高く評価出来る。プロジェクトにおいて醸成されてきた、データ活用や組織間の連携の仕組みについても後継のプロジェクトに効果的に継承されることを期待したい。
- ・（D委員）JSS 担当の部分に関して、35 年間の全実施期間を通じて十二分の実績を上げたことは高く評価できる。
パスコ担当の部分に関して、ASNARO-1 衛星画像データの提供およびオルソ、DSM、モザイクのプロダクト生成についてほぼ当初計画どおりに達成したことは評価できる。
- ・（E委員）鉱物・石油に対する画像の解析結果を基に開発を開始・中止を判断できるデータを提供できる校正システム、特に画像利用上の課題である要素技術であるオルソプロダクト生成や DSM データ生成技術等を開発、システムとして構築をし、その結果精度の良い画像が利用できる環境が整ったことは評価できる。

また、それらの画像を利用した、インフラ整備状況やオイルスリックなどの環境状況の判別に利用できることを実証したことも意義深い。

事業者開発の実施の是非を判断できる合理的な情報を示すことが可能となる本事業は、事業者のリソース確保・効率的執行、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。この点に関しては、平成 29 年度第 4 四半期より商業化も開始されていることから、今後の展開に期待する。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A委員）長期に渡るプロジェクトとはいえ、近年の国家プロジェクトの運営方式は改善改良がなされてきていることに鑑みると、複数組織間のマネジメント体制に関わる相互調整を円滑に進める組織の形成が必要であった。特に、JAXA と AIST の情報の橋渡し機能、あるいは、ASTER 日米サイエンスチーム会議の役割を明確にすることが望ましかった。
- ・（B委員）研究・研究のフェーズをすでに終え、実運用のフェーズにあるためであろうと推察されるが、論文や特許等についての記述がないためこれらの点での評価が出来ない。運用上のノウハ

ウ等についても、研究成果としてまとめることも検討されることを期待する。

また、せっかく実運用におけるアウトカムを得ていると考えられるので、効果的に広報されることが期待される。

- ・(D委員) JSS 担当の部分に関して、本事業評価の対象期間は平成 27 年度のみであるが、その年度の活動がプロジェクト評価資料に十分に記載されていないため、その期間の評価は困難であった。これは“評価の仕方・され方”の問題である。

パスコ担当の部分に関して、新たな手法の開発でなく、実際的な処理方法の確立という内容の開発である。これは問題点ではなく、本事業の特徴のことである。衛星データを利用できる形に変換してプロダクトを生成する体制を整えるには費用が掛かる。これを委託事業の形で国が負担することは理屈に合う。ただ、プロジェクト評価資料に記載されている“当省(国)が実施することの必要性”の根拠は弱いと見られる。

資料 6-2 の「5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ」では、事業内容がアウトカムとして記載されており、何がアウトカムかが正しく記載されていない。

- ・(E委員) 本事業の提供データ活用によって、どのようなアウトカムが生成されたのかを示していくべき。本事業の費用対効果についても、同様である。提供データが活用されたアウトカムによって得られた総合的な費用効果についても、国費を投入しているのであるから可能な限り検証すべきである。

本事業の高い有用性は、利用件数はもちろんであるが、その件数のみで判断できるものではない。それらが活用された結果が示されてこそ、アピールできるものとする。その点にも言及頂きたい。

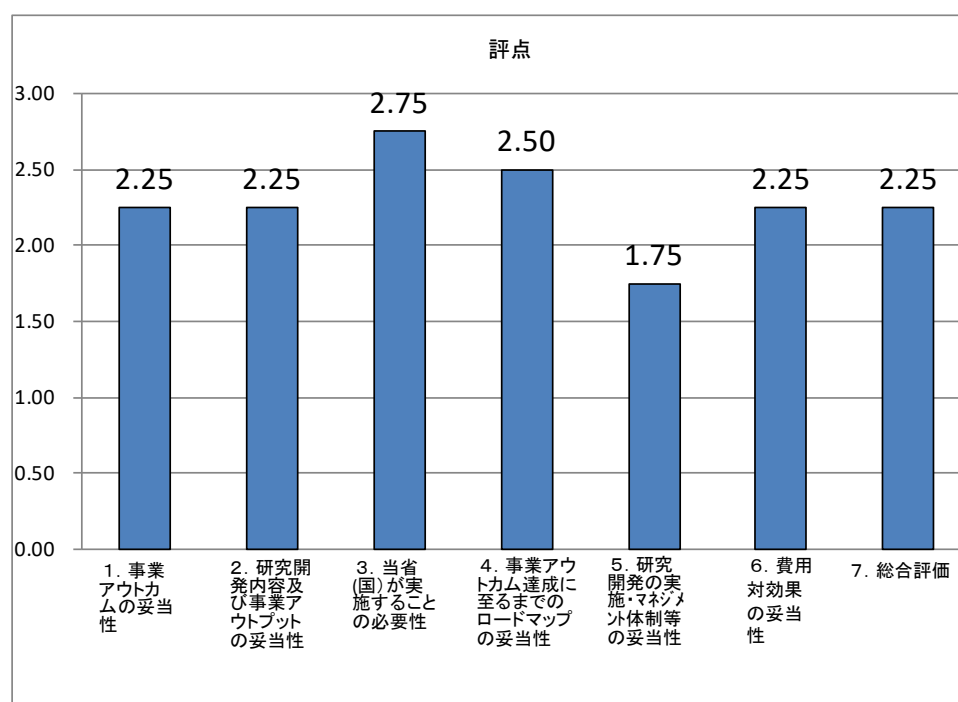
[※] C委員は、本研究開発の推進者であったため、評価を受けないこととした。

Ⅲ. 評点法による評価結果

評点法による評点結果

(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))

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.25	3	3	－	1	2
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.25	3	3	－	1	2
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.75	3	3	－	2	3
4. 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	2.50	2	3	－	2	3
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	1.75	1	3	－	1	2
6. 費用対効果の妥当性	2.25	2	3	－	1	3
7. 総合評価	2.25	2	3	－	1	3



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～ 6.

- 3点：非常に重要又は非常に良い
- 2点：重要又は良い
- 1点：概ね妥当
- 0点：妥当でない

評価項目 7. 総合評価

(終了時評価の場合)

- 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、成果等が今一步のところがあった。
- 0点：実施された事業は、成果等が極めて不十分なところがあった。

B. 次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発（終了時評価）

I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

プロジェクト名	次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発			
行政事業レビューとの関係	平成 29 年度行政事業レビューシート（事業番号 0035）			
上位施策名	①新成長戦略（平成 22 年 6 月 18 日閣議決定） ②産業構造ビジョン 2010（平成 22 年 6 月 3 日産業構造審議会産業競争力部会報告書） ③エネルギー基本計画（平成 22 年 6 月 18 日閣議決定） ④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			

プロジェクトの目的・概要

本事業では、宇宙機搭載のハイパースペクトルセンサ（地球表面の物質が放射あるいは反射する電磁波のスペクトルを“連続して高い波長分解能で”観測できる最新型のセンサ）から得られる地球観測データの高度利用に係る研究開発を行う。

本事業の目的は、①取得するハイパースペクトルセンサ・データの信頼性を向上させるため、ハイパースペクトルセンサの校正技術及びデータ処理アルゴリズムの研究開発を行うこと、②石油資源、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋の 7 分野で観測ニーズを踏まえた効率的なデータ収集を行うため、長期および短期の観測計画の策定に係る研究開発を行うこと、そして、③石油資源、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋の 7 分野でユーザニーズに応えるため、ハイパースペクトルセンサの高度利用に係る研究開発を行うことである。

予算額等（委託）				
(単位：百万円)				
開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成 18 年度	平成 29 年度	平成 27 年度	平成 30 年度	(一財) 宇宙システム開発利用推進機構、(研) 産業技術総合研究所
H27FY 執行額	H28FY 執行額	H29FY 執行額	総執行額	総予算額
306	306	248	4, 253	4, 356

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標
【指標】 以下により将来的にハイパースペクトルデータによるリモートセンシングの実利用が推進されること。 ①石油資源、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋の 7 分野の高度利用に係る研究開発の成果を、宇宙機に搭載したハイパースペクトルセンサを用いて実証する。 ②ハイパースペクトルデータの利用拡大に向けた研究公募 50 件を運用する。 【指標設定の根拠】 エネルギー・資源の安定供給のためには、石油資源や金属資源の安定的な確保は重要な課題であり、資源探査に必要な上質かつ即時性のある情報を他国に先駆けて入手することが求められている。また、地球規模での気候変動や生物多様性の消失といった環境問題への対応や、食糧需要の増大にともなう農地の荒廃化や輸入作物の高騰化への対応など、我が国をとりまく様々な問題に対処していくことが求められている。

指標目標値		
事業開始時（平成 18 年度）	計画：将来のアウトカム指標達成に向け、データ利用に必要なソフトウェア開発等の検討を行う。	実績：7 分野の高度利用に係るソフトウェア開発等の検討を行った。
中間評価時（平成 21 年度）	計画：将来のアウトカム指標達成に向け、データ利用に必要なソフトウェア開発等を行う。	実績：7 分野の高度利用に係るソフトウェア開発等を行った。
中間評価時（平成 24 年度）	計画：将来のアウトカム指標達成に向け、データ利用に必要なソフトウェア開発等を行う。	実績：7 分野の高度利用に係るソフトウェア開発等を行った。
中間評価時（平成 27 年度）	計画：将来のアウトカム指標達成に向け、データ利用に必要なソフトウェア開発等を行う。	実績：7 分野の高度利用に係るソフトウェア開発等を行った。
終了時評価時（平成 29 年度）	計画：将来のアウトカム指標達成に向け、データ利用に必要なソフトウェア開発等を行う。	実績：7 分野の高度利用に係るソフトウェア開発等を行った。
目標最終年度（平成 33 年度予定）	計画：事業の開始時から終了時まで実施してきた 7 分野（石油資源、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋）の高度利用に係る研究開発の成果を宇宙機において実証し、また利用拡大に向けた研究公募を運用することにより、将来ハイパースペクトルデータによるリモートセンシングの実利用の推進が期待される。	

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

我が国のエネルギー・資源の安定供給のために、石油資源や金属資源の安定的な確保は重要な課題であり、資源探査に必要な上質かつ即時性のある情報を他国に先駆けて入手することが求められている。また、地球規模での気候変動や生物多様性の消失といった環境問題への対応や、食糧需要の増大にともなう農地の荒廃化や輸入作物の高騰化への対応など、我が国をとりまく様々な問題に対処していくことが求められている。

このような要求に対して、衛星を利用したリモートセンシング技術は、一度に広範囲のデータの取得、定期的な観測、立ち入りが困難な地域の観測を可能とするため、必要な情報の入手に対して大きく貢献できることが考えられ、今後国際的にさらなる活用の拡大が期待されている。さらにこれまでのリモートセンシング技術に加えて、高い波長分解能を有するセンサ（以下、ハイパースペクトルセンサ）を開発・利用することによって、さらに詳細な情報を取得することが可能となる。

一方で現状としては、可視から短波長赤外域までを高精度に観測する定常運用の全球観測ハイパースペクトルセンサが存在しないため、米国の HypSIRI やドイツの EnMap などの開発計画が多く存在しており、世界的なハイパースペクトルセンサ開発競争の段階にある。このような海外センサとの開発競争を制し、世界市場における我が国の技術の優位性を獲得する重要性も高まっている。

このような背景のもと経済産業省では、平成 19 年度から高い波長分解能を有するセンサ（ハイパースペクトルセンサ）の開発を進めてきており、本センサの早期の宇宙実証を行うべく「高性能ハイパースペクトルセンサ等研究開発プロジェクト」基本計画をまとめ、今後、本センサを国際宇宙ステーション（以下 ISS）に搭載し、その宇宙実証を行う方針を決定した。

本研究開発では、ISS に搭載したハイパースペクトルセンサについて、以下の 3 項目の個別要素技術の開発を実施し、宇宙実証を通じてその実用化を推進することを目的としている。

- ①校正技術及びデータ処理アルゴリズムの研究開発
- ②観測計画の策定に係る研究開発
- ③ハイパースペクトルセンサの高度利用に係る研究開発

（1－1）校正技術及びデータ処理アルゴリズムの研究開発

HISUI は、高空間分解能、高波長精度、高 S/N 比を有しており、石油探査技術等を高度化させ、探

鉱開発をさらに効率化させることが期待されるが、その実用化には、従来のセンサには無い光学系歪みへの対応など、適切な校正・処理手法を開発する必要がある。そこで、HISUI データを想定した、放射量・波長校正（打上前室内校正、内部光源校正、代替校正、相互校正）および幾何校正を適切に行い、補正処理する手法を開発した。

（１－１－１）打上前室内校正および内部光源校正

打上前室内校正は、打ち上げ前に実験室において既知の光源を受光することにより、センサから出力されるデータを校正するものである。また内部光源校正は、機器に搭載した内部光源から受光することにより校正するものである。

400～2500 nm の広範な波長域における高分解能なセンサ感度校正・評価を可能とするため、新たな高輝度標準光源を開発し、大開口径セルの作成および値付け試験を実施した。これにより、短波長域校正における光量増大および比較光学系による不確かさの低減を進めた。ハイパースペクトルセンサ特有の課題であるピクセル単位の相対分光応答度評価に関しては、高精度分光放射輝度比較技術を開発した。広帯域高輝度白色光源（スーパーコンティニウム光源）をダブルモノクロメータと組み合わせた高波長純度光源システムの安定性向上およびパルス応答性評価を行った。開発した SC 光源システムを用いて実際に ISS ハイパーの相対分光応答度および波長特性の測定を実施し、開発したセンサの精度を評価した（図 1）。さらに、絶対分光感度校正の妥当性を確認するため、検証用放射温度計を ISS ハイパーのトレーサビリティから独立した校正・特性評価を行い、SI トレーサブルな標準光源による校正を実現した。これらの解析結果は地上での放射量補正に係るデータ処理手法に反映される。

内部光源校正（オンボード機器校正）については、オンボード校正光源部の輝度温度モニタ検出に関し、標準分光放射輝度電球ベースのフィルタ分航測提携を用い、各波長の輝度測定から、輝度分布測定システムの不確かさを評価した。この結果は機上ランプ光源の経年劣化に対する不確かさモデルの検討に反映されうる。

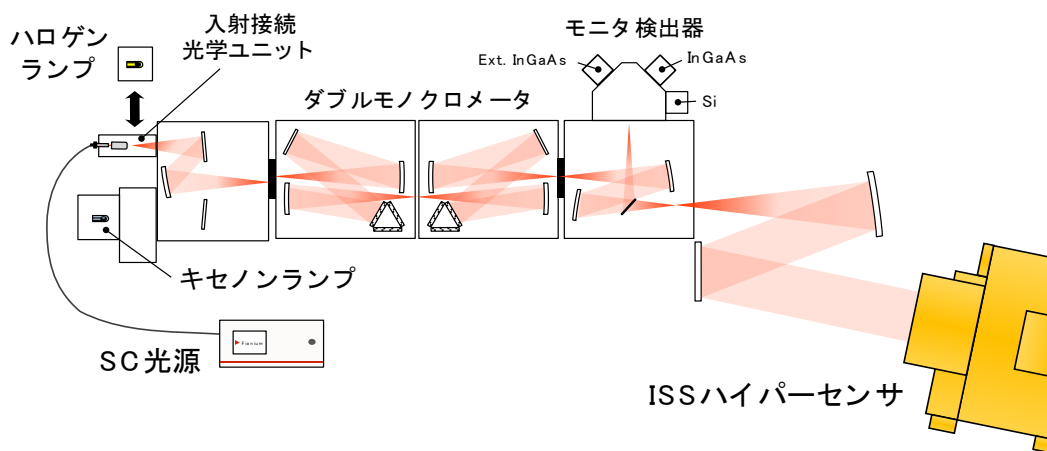


図 1 センサ評価用分光測定装置

（１－１－２）代替校正

代替校正は、衛星センサの撮像時と同期し、地上測器で地表および大気等のパラメータを測定、これを処理・解析しセンサが本来観測しているであろう物理量を計算、その上で、実際に観測された衛星センサでの物理量と比較、その差から衛星センサの経年劣化を推測することにより、校正するものである。

HISUI センサの代替校正するための、反射板校正技術の開発、代替校正野外実験の整備を進めた。反射板校正については、現地観測で基準となる反射板の室内実験による校正手法の技術開発を進めた。また代替校正実験については、ハイパースペクトルセンサを ISS に搭載することによって生じる観測頻度減少・観測条件悪化に対応すべく、自動観測サイトの整備にあたった（図 2、図 3）。

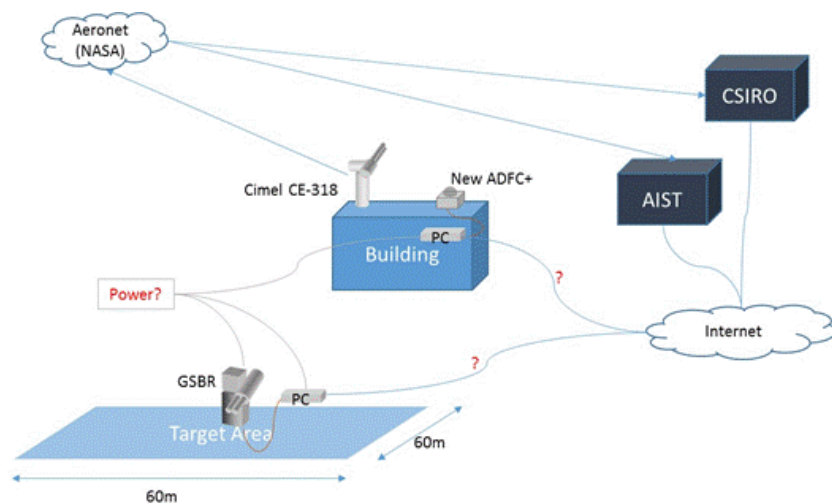


図2 自動観測サイトの最小限の構成

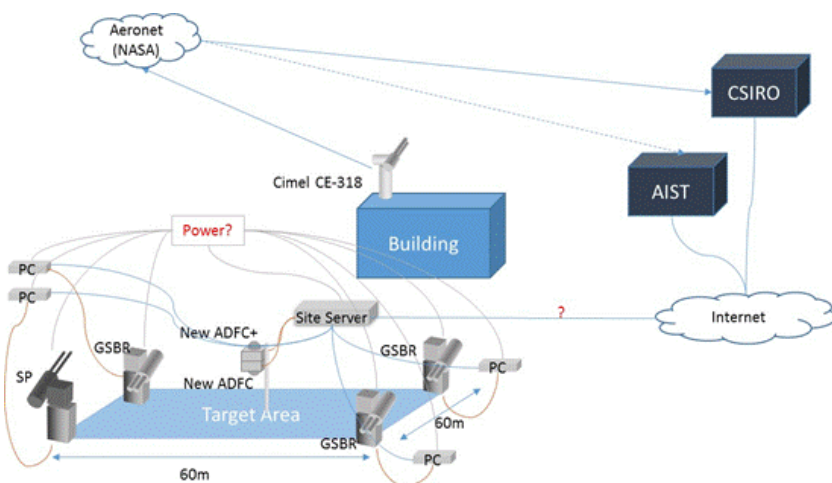


図3 自動観測サイトの望ましい最終形

(1-1-3) 相互校正

相互校正とは、宇宙空間において感度の変化した校正対象のセンサと、リファレンスとなる品質管理された衛星センサが同時刻、もしくは環境条件の変化が少ない時間内に同地点を観測したデータ群から対象センサの感度変化を相対的に補正する手法である。

米国による ISS 搭載予定の CLARREO Pathfinder (CPF) を対象として、感度解析アルゴリズムにおける入力変数をより現実的なものに発展させて感度解析を行った。結果より、大気窓における相互校正時では大気変数の正確な推定の必要は低いことが明らかとなり、また、太陽照度モデル値の精度改善が相互校正の精度改善に比較的寄与することを確認した(図4)。

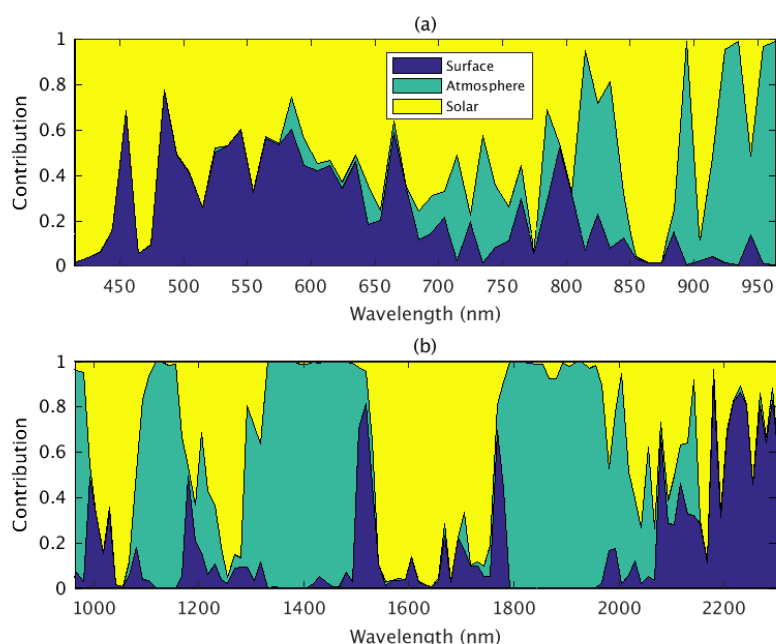


図4 (a)可視近赤外波長域における太陽照度モデル、大気、地表面に関する変数の不確かさの総合的な不確かさに対する寄与率。(b)短波長赤外域における寄与率の結果。

この解析結果に基づき相互校正のエラーバジェット表の作成を開始した。また近似した不確かさの正確さについて検証するための実験方法を提案し、実験結果から近似した不確かさは十分な正確さであることを確認した。さらにマルチスペクトルセンサの相互校正アルゴリズムの概念設計を行った。

(1-1-4) L1 処理

HISUI の出力データは 512,000 個の素子毎に異なった特性が反映されている。データの品質を維持するために、素子の出力を均一化するとともに絶対値を正す補正が必要である。

HISUI の宇宙機側で測定する位置・姿勢の情報から地表面に投影することにより、正確な地表面位置情報を付加する必要がある。また HISUI には、波長帯により同一画素の観測位置がずれるキーストーン特性や、可視近赤外センサと短波長赤外センサの間の視差（レジストレーション）による位置ずれ等、幾何的なエラーが存在するため、それらを補正する必要がある。

ラジオメトリック（輝度）補正データベースを設計し、合わせて補正パラメータの生データ（L0 データ）への適用アルゴリズムを開発した。合わせて、地表面投影のアルゴリズム、キーストーン特性や視差の補正アルゴリズムを開発した。これら補正処理（L1 処理）およびプロダクトの生成アルゴリズムの流れについて図5に示す。

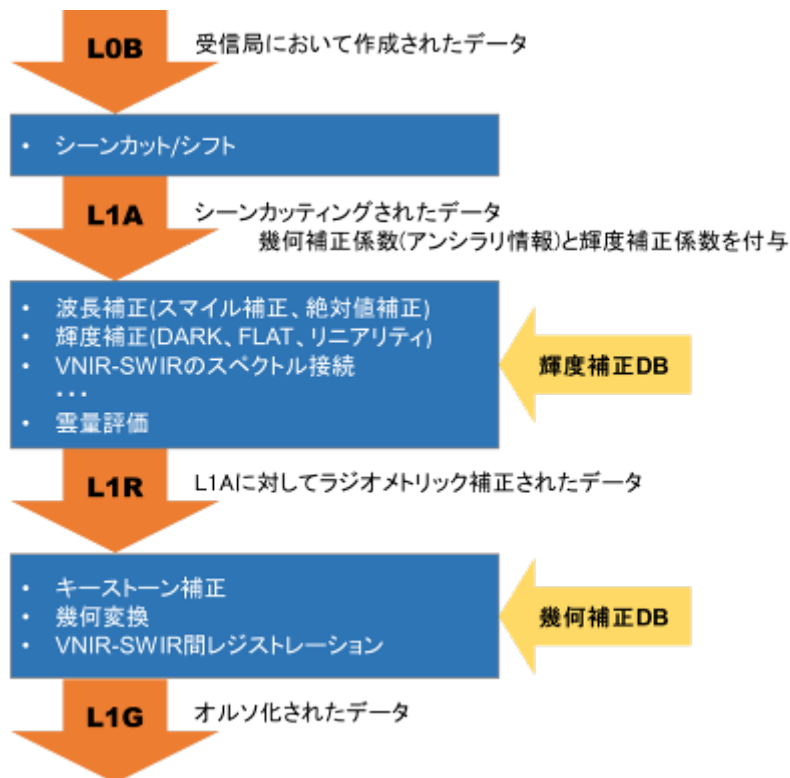


図5 HISUI L1 生成アルゴリズムの処理手順

(1-1-5) 大気補正処理

大気補正とは、大気による散乱・吸収の影響を除去し、地表面反射率の画像を得ることである。ハイパースペクトルセンサは資源探査分野での利用において、衛星観測輝度ではなく、大気補正された地表面反射率であることが期待される。なお、大気補正処理プロダクトは標準プロダクトではなく、研究プロダクトとして本事業では位置付けている。

ISS 搭載に対応した、大気補正手法を確立し、大気補正処理プログラムのプロトタイプ(Stable 版)を開発した(図6)。この Stable 版を基に、ユーザへ補正情報を提供するためのサービス機能を追加など、継続的な改修・機能追加開発を Current 版で行っている。また、検証計画を実施するに必要な技術を取りまとめた。以上を反映させた、大気補正処理アルゴリズム理論基準書を作成した。

えると、実際に雲のない画像が取得される場所および太陽高度などの観測条件を算出することが可能である。

(b) 長期観測計画の策定方針の検討

以下の観測条件・機器制約条件について整理した。

- ✓ ISS の軌道と HISUI の観測幅
- ✓ HISUI の駆動時間（温度条件）制約
- ✓ HISUI 観測データレート
- ✓ 曝露部・与圧部のデータストレージ容量
- ✓ 転送データレート・ストレージ運搬データ量
- ✓ ポインティングの角度設定・総回数
- ✓ 観測時間制限、観測要求の対象地域・観測条件

そして、それぞれ複数の条件に基づいて長期観測シミュレーションを実施し、ミッション期間を通じた観測結果を推定した。その推定観測結果より最も効率的な条件を判断し、ミッション要求案として設定するとともに、HISUI 機器開発側と機器制約条件について調整した。調整の結果を標準条件として設定した（表 1）。

表 1 長期観測シミュレーションにおける標準条件

項目	標準条件
ISS の軌道	高度 410 km、離心率 0.001071、軌道傾斜角 51.6419 度、太陽非同期軌道。回帰なし 3 年連続による軌道。高度修正なし。秋分点スタート。J2 永年摂動により軌道面が回転。
シーンサイズ	幅 20km×長さ 30km、観測マージン 5km。
観測時間制限	7.5 分/オービット。
分割数制限	3 分割/オービット。
被雲推定モデル	Terra/MODIS 被雲実績（2009–2011 年）を使用
雲回避	雲回避機能（RGU-B）を使用。
季節条件	季節条件なし。
太陽高度条件（ S 角）	全陸域観測、優先地域観測： $S \geq 40^\circ$ 重要観測要求、日本優先観測： $S \geq 30^\circ$
被雲判定のタイミング	120 日遅延。
ポインティング	直下視のみ
観測ターゲット （優先度順）	日本観測および重要観測（200 箇所） 優先観測域（石油堆積盆地）に対する優先一回観測 全陸域（陸域および浅海域）に対する全球一回観測

標準条件における、長期観測シミュレーションの結果を図 7～図 10 に示す。

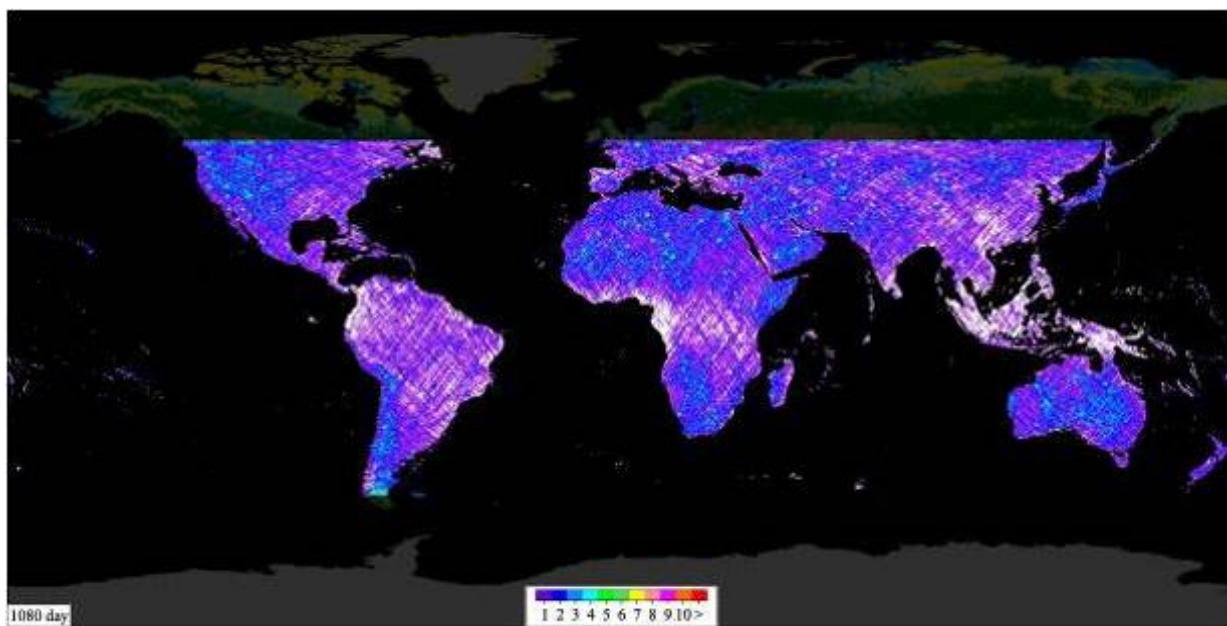


図7 ミッション3年間における観測マップ。白色は被雲により観測に成功しなかった場所。

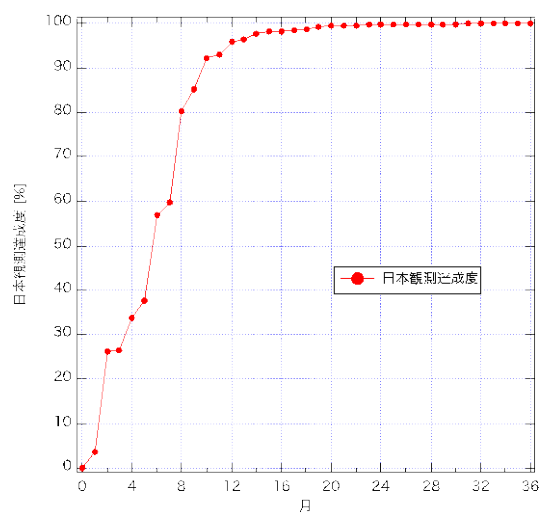


図8 日本観測達成度

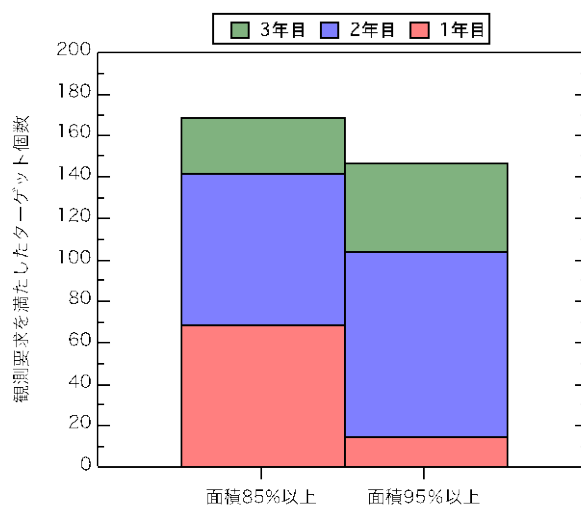


図9 重要観測達成度

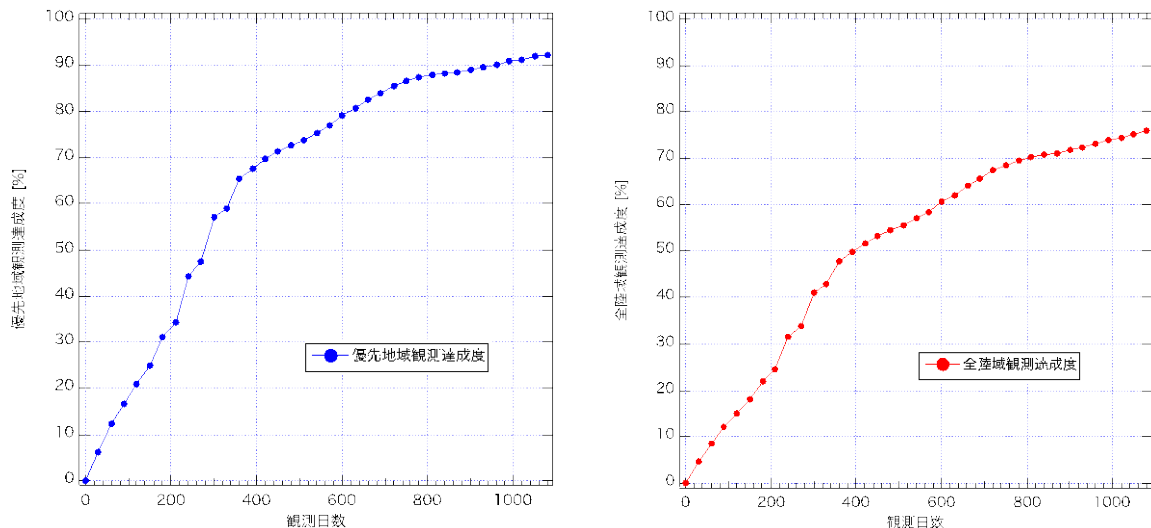


図 10 (左) 優先観測域と (右) 全陸域の観測達成度

(1-2-2) 短期観測計画の策定

まず観測計画の運用方針について検討した。検討結果を図 11 に示す。

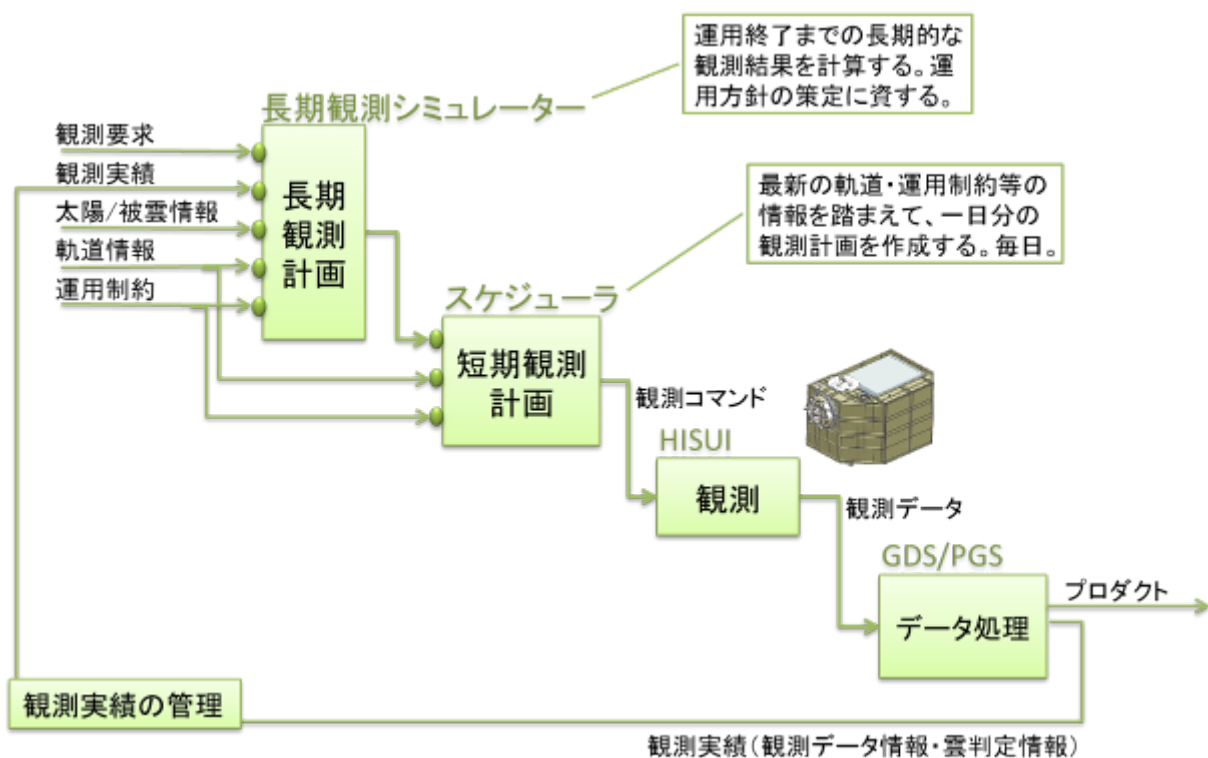


図 11 観測計画の運用方針

次に、アルゴリズムの細部検討とその結果に従いフローチャートを含む ATBD（アルゴリズム基準書）を作成した。複数アルゴリズムを併用し最もスコアが高い観測計画を採用するアプローチが有効であることを示唆する結果が得られたため、4 種類の観測 をベースに HISUI スケジューラアルゴリズムフローチャートを作成した。各プランの特色を以下に示す。

- ✓ アルゴリズム 1：最もスコアの高いシーンから順に抽出
- ✓ アルゴリズム 2：閾値より高いシーンをまとめて抽出
- ✓ アルゴリズム 3：単純移動平均を取り、その後はプラン 2 と同様に抽出

✓ アルゴリズム 4：最優先領域、準優先領域、通常の撮影領域の順に抽出

これら開発したスケジューラのアルゴリズムについては、HISUI の ISS への搭載に対応させるとともに、アルゴリズムが実際の運用に準じたものとするため、実装する地上システムとそのアルゴリズムの実装・運用に際しての負荷等について調整した。

(1-2-3) 気象データの整備

スケジューラおよび長期観測シミュレーションでは、雲や雪域を避け観測効率を上げるアルゴリズムを採用している。そこで、スケジューラおよび長期観測シミュレーションにおいて参照する雲データおよび雪域データ等について、作成方針を検討し、必要に応じて作成・整備した。

(a) 被雲データ

全球の毎日の被雲データを以下の通り整備した。非太陽同期軌道に対応するため、午前と午後両方の被雲データを整備した。

✓ Terra/MODIS (午前の被雲データ)：2008～2016 年

✓ Aqua/MODIS (午後の被雲データ)：2012～2016 年

これら毎日の被雲データは、長期観測シミュレーションにおける被雲実績の推定に利用した。合わせて、整備したデータについては統計的な処理を行い、全球の各 1km メッシュにおける年間晴天率および月間晴天率の値を算出した。この被雲統計情報はスケジューラの被雲回避のソースとする。

(b) 雪域データ

外部データによる雪域判定を実施するための方針を検討した結果、HISUI の運用期間中に利用が可能であること、時間分解能および空間分解能が十分であること、という条件を満たしている MOD10 のサブセットレイヤである「8 Day Snow Cover」を用いることとした。ダウンロードファイルの容量は、1 セットあたり約 91MB (8 日分) であり、運用に支障の無い容量である。

(1-3) ハイパースペクトルセンサの高度利用に係る研究開発

ハイパースペクトルセンサは、観測対象から放射あるいは反射された電磁波を、高い波長分解能で連続して測定することができるセンサである。こうした特徴により、従来から利用されているマルチスペクトルセンサに比べて、より多くの観測対象物の種類を識別したり、より高い精度で観測対象の物理量を推定したりすることが可能となる。一方で、これまでにない新しいタイプのセンサであるため、データの解析方法に関する知見や、データの利用例に関する蓄積が十分とはいえない状況にある。

そこで本個別要素技術（ハイパースペクトルセンサの高度利用に係る研究開発）では、ハイパースペクトルデータの特徴を生かしたデータ処理方法や解析アルゴリズムを使用し、今後衛星データ利用の拡大が見込まれる分野における利用技術の研究開発をすすめるとともに、ユーザによるハイパースペクトルデータの利用を支援するためツールの開発を行った。図 12 は、事業開始から終了までの 12 年間に、石油資源、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋の 7 分野で実施した、高度利用に係る研究開発、および支援ツール作成の一覧を表している。

平成 27 年度は「土砂災害の脆弱性評価」「半乾燥域から乾燥域での土壌塩分濃度推定手法」の 2 件、平成 28 年度は鉱石鉱物検出技術の開発および「沿岸海域の水深測定技術の開発」の 2 件、平成 29 年度は「堆積盆鉱物マッピング」の 1 件について、開発を完了させた。

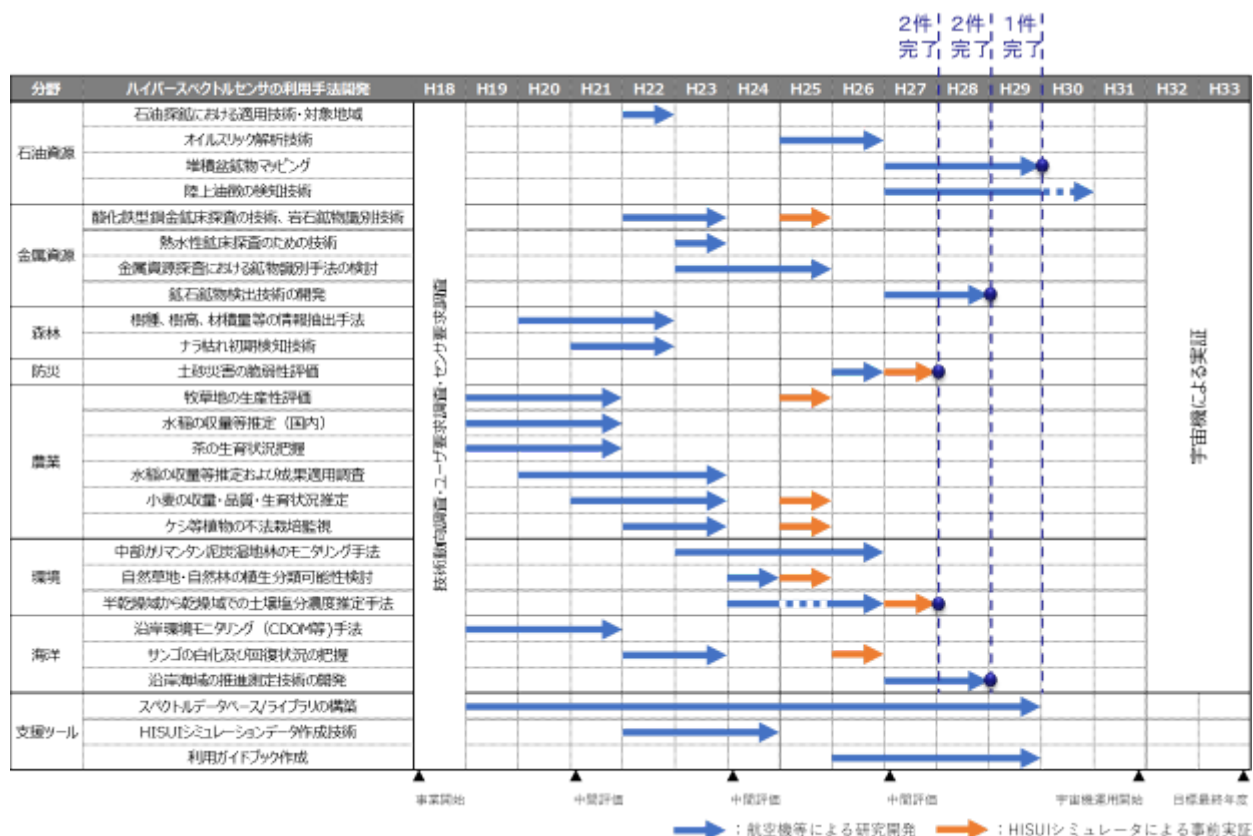


図 1-2 事業の開始時から終了時まで実施した、ハイパースペクトルセンサの高度利用に係る研究開発 7 分野と、各分野で実施した研究テーマの年表。支援ツールの整備状況も含む。

（1-3-1）石油資源分野

石油資源分野の研究開発では、石油探査有望地に特徴的にみられる岩石や鉱物、炭化水素の分布、海域にみられる油徴等をスペクトル特徴から抽出する手法を開発することが目的である。本分野で実施した研究開発は、「石油探査における適用技術・対象地域」、「オイルスリック解析技術」、「堆積盆鉱物マッピング」、「陸上油徴の検知技術」、「石油探査における鉱物識別技術の開発」の 5 件である。

図 1-3 は、カリフォルニア州サンタバーバラ沖で実施した、海域における油膜（オイルスリック）のマッピング手法を開発した事例である。本事例から、オイルスリックと通常の高表面では、可視近赤外域でオイルスリックの方が高い輝度値を示すことが分かった。さらに、オイルスリックの輝度値パターンは、滲出点近くで放射輝度が相対的に小さく、その後、急激に放射輝度が増大し、滲出点から離れるにつれて放射輝度が漸減することが分かった。この関係を利用することで、オイルスリックの滲出点の推定が可能となった。このようなスペクトルパターンの細かな変化をとらえることは、ハイパースペクトルデータだからできることと言える。

の差によって起こる、わずかなスペクトルの違いも認識できることが分かった。

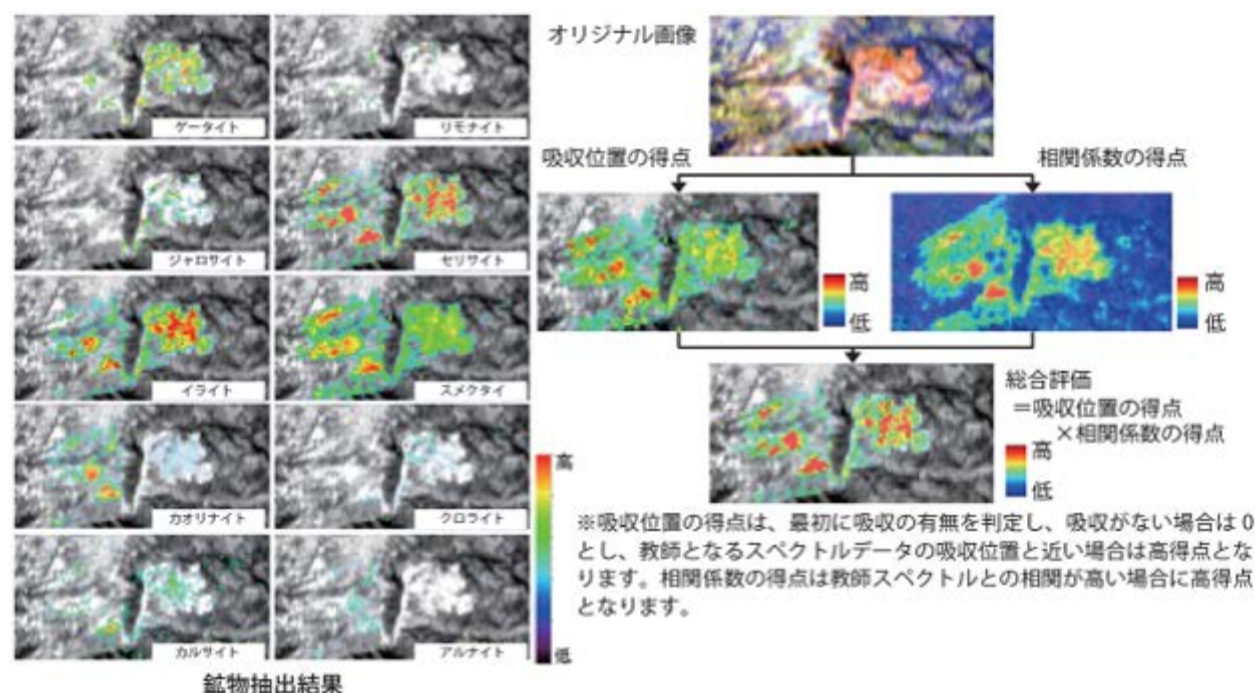


図 1 4 岩石鉱物分類

(1-3-3) 森林分野

森林分野の研究開発では、樹種や林齢、材積量を推定することによって林業における資産管理や気候変動における森林炭素蓄積量の推定などを行うこと、また、スペクトルの僅かな違いから樹木の健康状態や病気の有無などを判断することが目的である。本分野で実施した研究開発は、「樹種、樹高、材積量等の情報抽出手法」、「ナラ枯れ初期検知技術」の2件である。

図 1 5 は、東京都八王子市の森林を対象として、様々な樹種の分類図を作成した事例である。本事例では、まずハイパースペクトルデータを用いて既知の樹種の樹冠スペクトルライブラリを作成し、このライブラリを教師データとして未知のピクセルとの類似度を求め、最も類似度が高かったスペクトルをそのピクセルの樹種として分類した。また、樹冠の領域を抽出し、領域内で多数を占める樹種をその樹冠の樹種とする多数決処理も行った。多数決処理により、樹冠にできた影の影響を抑え、樹冠全体を正しく分類することができた。本手法により、12 種の樹木を分類することに成功し、マルチスペクトルセンサよりも多くの種類を精度よく分類できることが分かった。

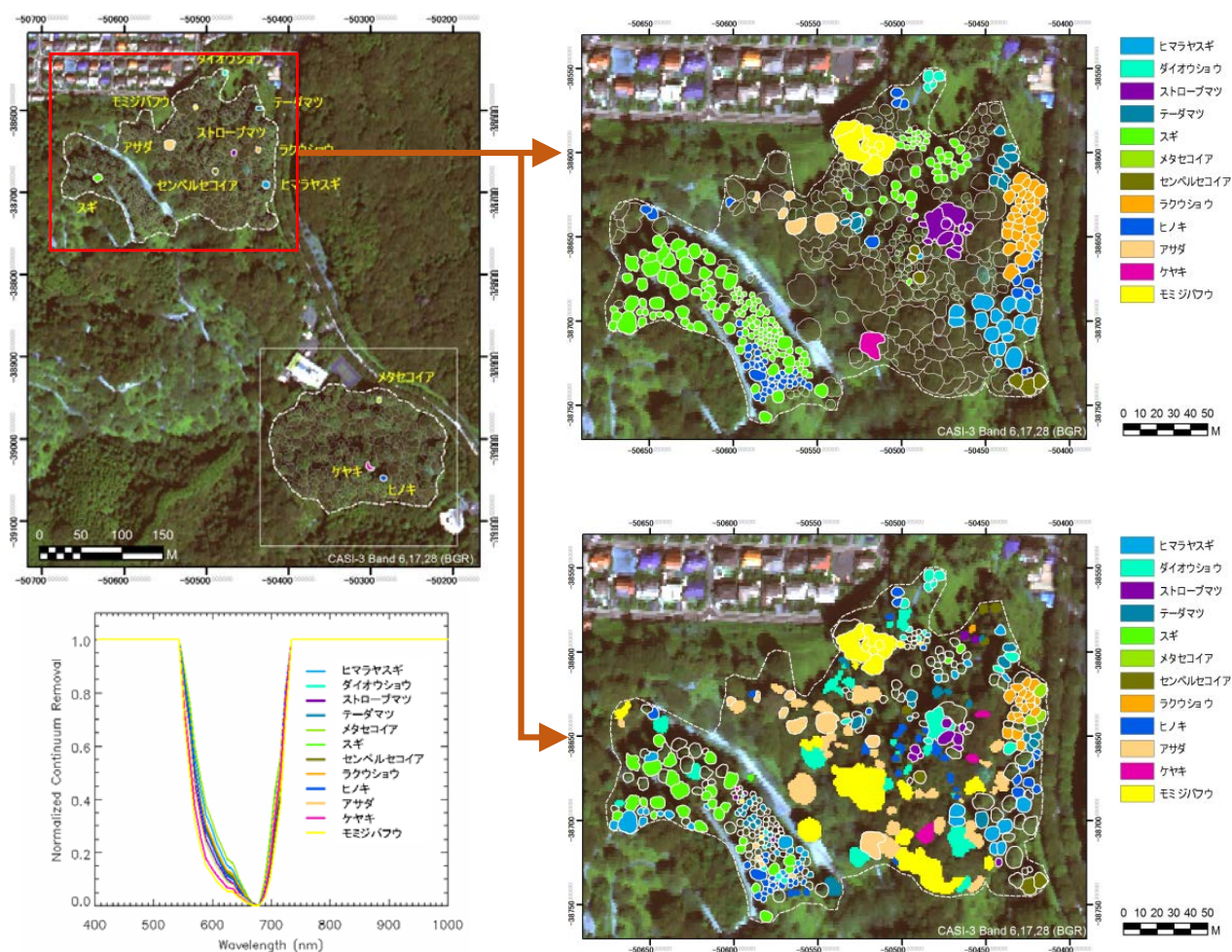


図 15 樹種分類

(1-3-4) 防災分野

防災分野の研究開発では、従来の土砂災害予測や危険性の評価に植生の情報を加えることで、植生の斜面崩壊抑制効果を考慮した精度の高い災害危険度マップを作成することが目的である。本分野で実施した研究開発は、「土砂災害の脆弱性評価」の1件である。

図 16 は、宮城県の大崎市で行った表層崩壊危険度マップの作成事例である。本事例では、現地調査をもとに対象地域の森林タイプを決定し、ハイパースペクトルデータを用いて森林タイプの分類を行った。次に、遷急線と斜面勾配による評価マップを作成し、さらに地質や岩相情報から最も危険と判定された溶結凝灰岩の部分を抽出した。これに、ハイパースペクトルデータの解析で得られた植生情報を加えて、表層崩壊危険度マップを作成した。この表層崩壊危険度マップと現地での崩壊地を比較すると、表層崩壊危険度マップで危険度の高い場所に地形および地質調査で確認された崩壊地が含まれていることが確認できた。本事例による森林タイプの分類精度は約 89% と高い値を示しており、ハイパースペクトルデータが危険度マップの精度に大きく寄与していることが示された。

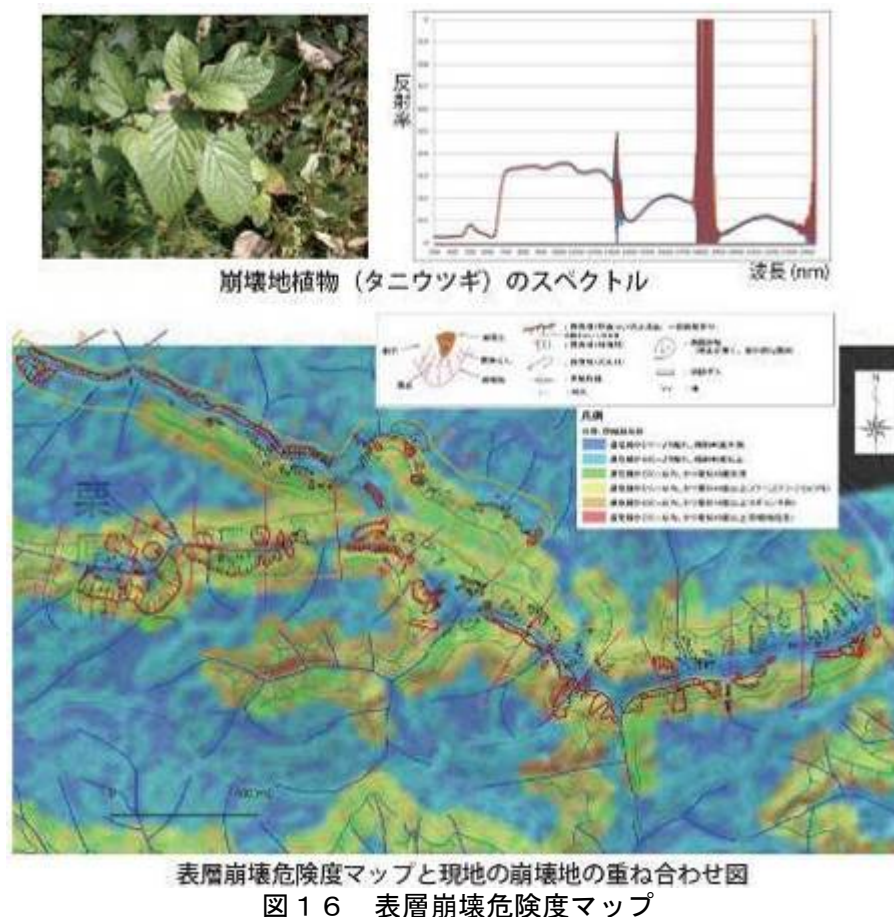


図 1 6 表層崩壊危険度マップ

(1-3-5) 農業分野

農業分野の研究開発では、異なる作物の作付分類、対象とする作物の生産量、品質、生育ステージ、収穫適期等を推定する技術の開発が主な目的である。本分野で実施した研究開発は、「牧草地の生産性評価」、「水稻の収量等推定（国内）」、「茶の生育状況把握」、「水稻の収量等推定（インドネシア）」、「小麦の収量・品質・生育状況推定」、「ケシ等植物の不法栽培監視」、「オイルパーム農園のモニタリング手法の開発」の 7 件である。

図 1 7 は、オーストラリアの小麦を対象に行った、作付分類、および収量と品質の推定結果の例である。小麦の作付分類は、作物間の分光反射特性の違いから小麦とそれ以外の作物を分類できることが分かった。また、小麦の収量に相当する子実重は iPLS 法と重回帰分析を、品質に相当する子実窒素含有率は重回帰分析を用いることで、実用レベルの推定が可能であることが分かった。これらの解析は、既存の中分解能多頻度衛星（MODIS 等）でも可能だが、ハイパースペクトルデータの短波長赤外域に現れる波長の形状のわずかな違いを利用しているため、解析精度を大幅に向上できることが示された。

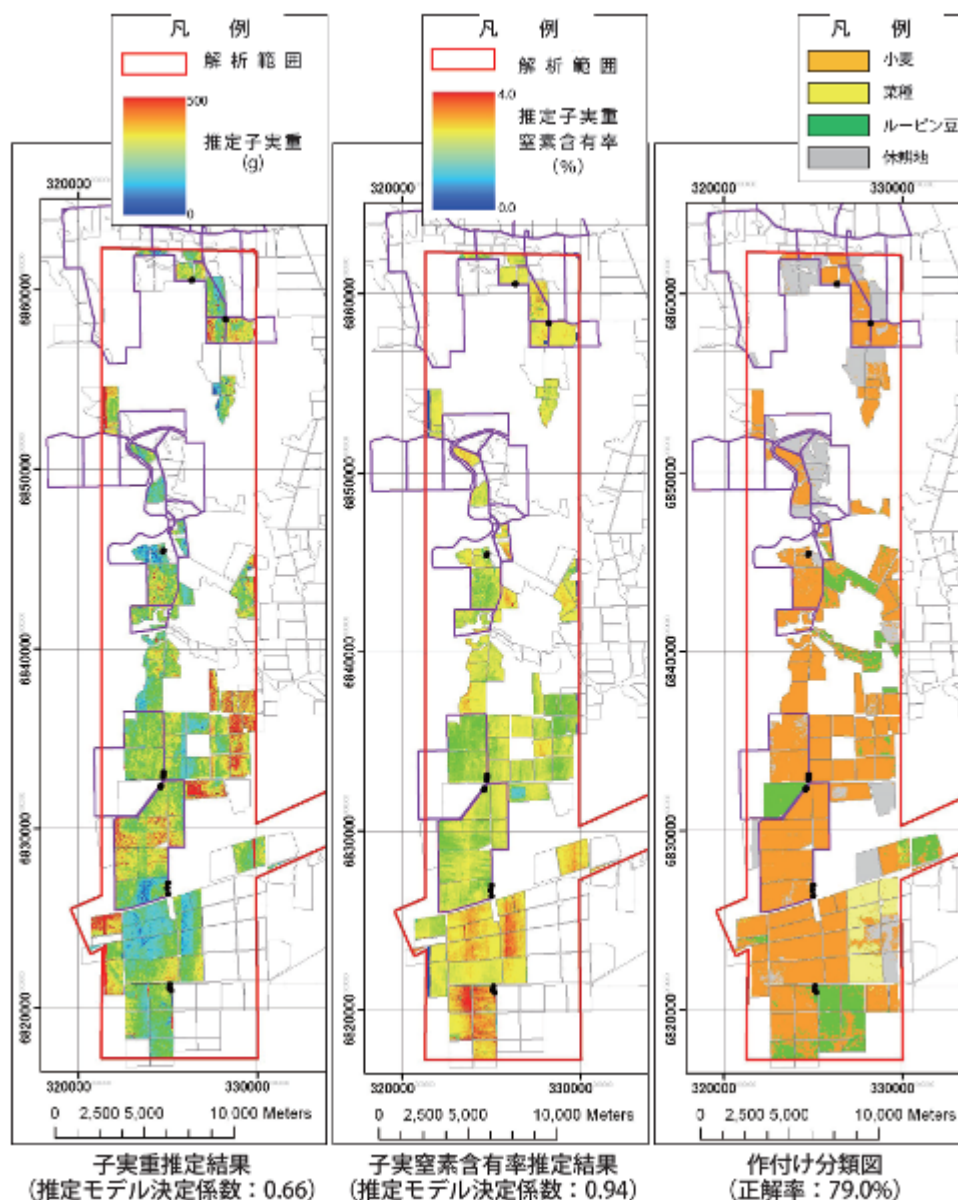


図 17 小麦のモニタリング

(1-3-6) 環境分野

環境分野の研究開発では、気候変動の一因となっている泥炭湿地林の減少と劣化、生物多様性の保全に関係する自然植生の分布、農業生産性の低下の原因となる土壌の塩害化をモニタリングする技術の開発が目的である。本分野で実施した研究開発は、「中部カリマントン泥炭湿地林のモニタリング手法」、「自然草地・自然林の植生分類可能性検討」、「半乾燥域から乾燥域での土壌塩分濃度推定手法」の3件である。

図 18 は、オーストラリアの圃場を対象とした、土壌塩害推定マップの作成事例である。本事例では、土壌の塩分濃度の増加に伴う反射スペクトルの変化に着目して解析を行った。その結果、2027.3nm と 2008.6nm における反射率の差分値と塩分濃度に相当する電気伝導度 (EC1:5) との間に高い相関がみられることが分かった。この関係式を用いて作成した土壌塩害推定マップから、土壌の塩分濃度の分布パターンを正しく抽出できていることを確認した。既存の土壌塩害推定マップでは塩分集積の有無しか分からなかったが、ハイパースペクトルデータを用いた解析では塩分濃度の大小まで推定できた。

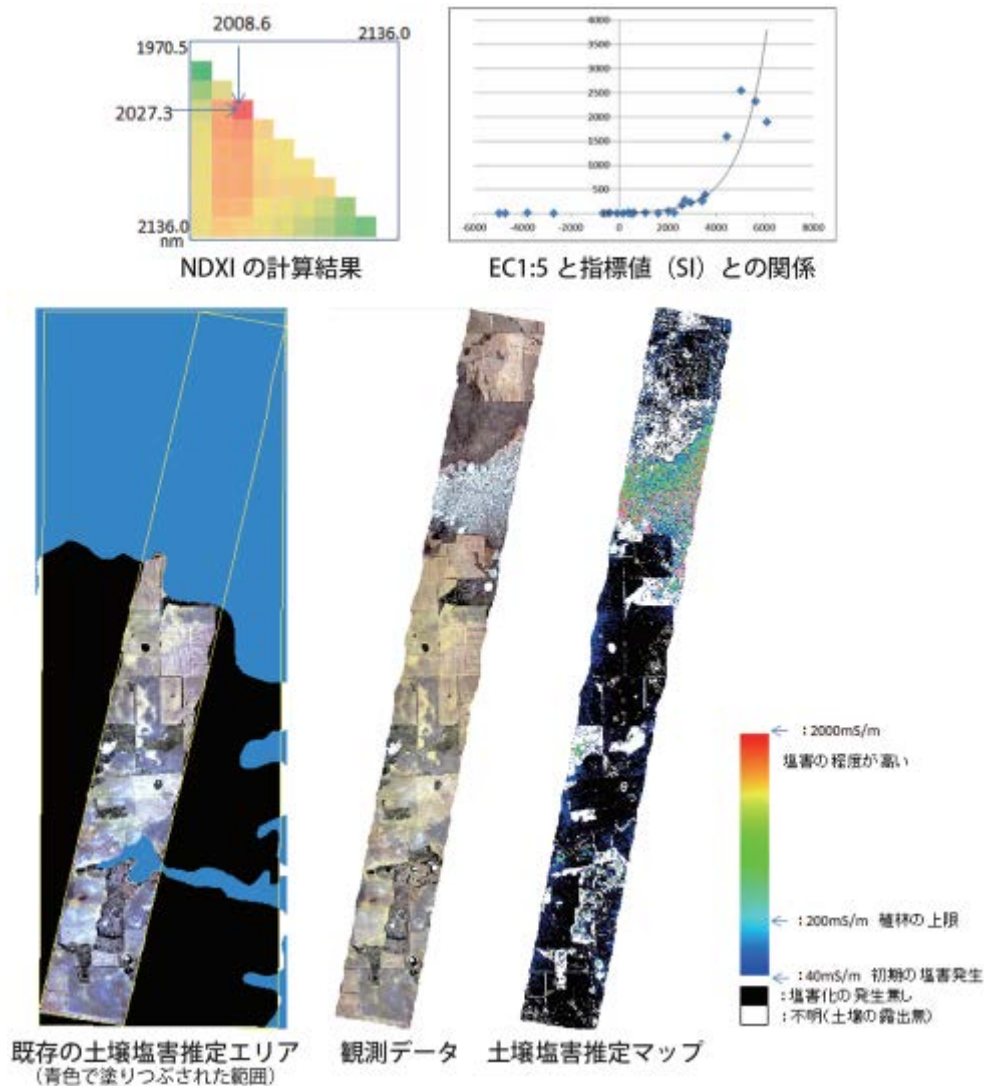


図 18 土壌塩害マップ

(1-3-7) 海洋分野

海洋分野の研究開発では、ハイパースペクトルセンサでの観測が期待される沿岸域を対象に、海水の性質そのものを測定することや海面下にある底質の状況や水深を測定することが目的である。本分野で実施した研究開発は、「沿岸環境モニタリング (CDOM 等) 手法」、「サンゴの白化及び回復状況の把握」、「沿岸海域の推進測定技術の開発」の 3 件である。

図 19 は、沖縄県阿嘉島の沿岸域を対象に実施した、水深分布図の作成事例である。本事例では、ハイパースペクトルデータから得られる反射率と、放射伝達理論に基づいてシミュレーションした反射率のスペクトルマッチングによって水深を求めた。シミュレーションによる反射率は、Inversion 法と呼ばれる方法の中でも拡張性の高い Semi-analytical モデルを採用した。作成した水深分布図を、市販の水深データから作成した水深分布図と比較したところ、分布傾向は概ね一致していることが確認できた。また、精度検証の結果、阿嘉島では水深 20m(RMSE2.7m) 程度まで推定できることが分かった。

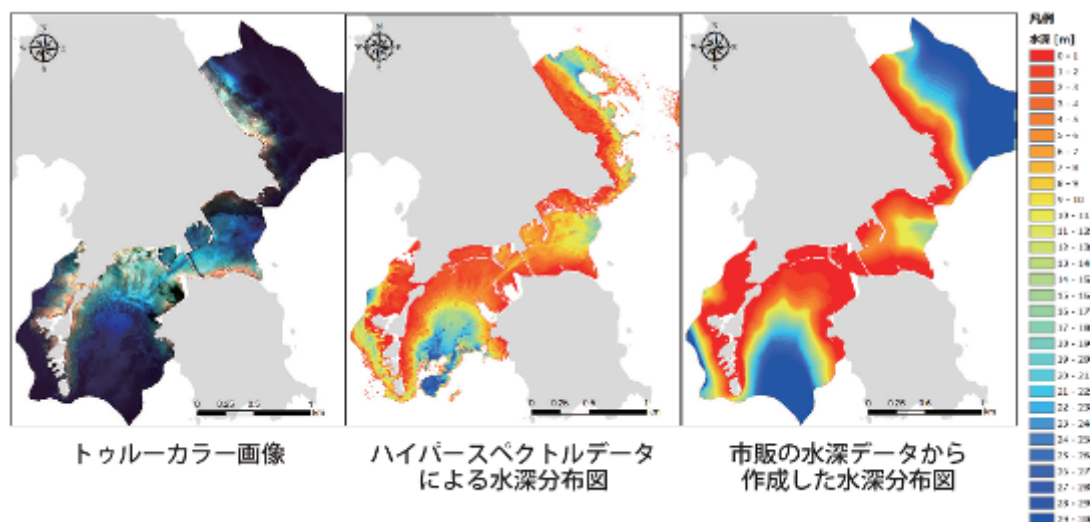


図 19 水深分布図

(1-3-8) 支援ツールの整備

支援ツールの整備では、宇宙機に搭載したハイパースペクトルセンサの利用促進に不可欠なツールをユーザに提供することが目的である。本事業では、「HISUI シミュレーションデータ作成ツール」、「スペクトルデータベース/ライブラリ」、「利用ガイドブック」の3つの支援ツールを整備した。

HISUI シミュレーションデータ作成は、航空機で取得したハイパースペクトル画像を、宇宙機に搭載するハイパースペクトルセンサと同じ波長特性や空間分解能を持つ画像に変換するための技術を活用している。変換した画像は、宇宙機による実証試験に先立ち、本事業で実施した研究開発の成果を事前に実証するために使用した。

スペクトルデータベース/ライブラリは、宇宙機に搭載したハイパースペクトルセンサで取得したデータが、地上の何の物質のスペクトルであるかを推測するために必要となる。本事業では、取得したハイパースペクトルデータをライブラリとして整理するとともに、Web ベースでこれらのスペクトルを検索可能なシステムを構築した。

利用ガイドブックは、ユーザがハイパースペクトルデータを利用する際に必要とされる知見、経験、情報等を提供するために作成した。利用ガイドブックの内容は、ハイパースペクトルデータの特徴や本事業で蓄積してきた利用事例の他に、ハイパースペクトルデータの入手方法や前処理の方法、利用可能なソフトウェアの情報などを網羅している。本ガイドブックを潜在的ユーザに配布することによってハイパースペクトルデータの利用を促進し、実用化や事業化に繋がる。

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標 1		
HISUI データの利用実証を実施し、そして実用化を推進するためには、HISUI の従来のセンサには無い光学系歪み等に対して、適切に校正を施し、高品質な HISUI データを提供する必要がある。このため、HISUI データを想定した、校正・補正処理手法を開発する。		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時（平成 22 年度）	計画：校正・補正処理手法の検討を開始する。	実績：校正・補正処理手法の検討を開始した。
中間評価時（平成 27 年度）	計画：打上前室内校正、代替校正、相互校正のそれぞれの既存技術評価を行い、各校正の改良技術を開発する。補正処理のためのアルゴリズムを開発する。	実績：打上前室内校正、代替校正、相互校正のそれぞれの既存技術評価を行い、各校正の改良技術を開発した。補正処理のためのアルゴリズムを開発した。
終了時評価時	計画：HISUI が搭載される衛星を考慮して、各校正手法および補正処理のためのアルゴリズムを開	実績：ISS 搭載の HISUI を前提として、各校正手法および補正処理のためのアルゴリズムを開

	発する。	開発した。
事業目的達成時	計画：データの高度利用を実証するために、HISUI データを校正し高品質なデータを提供する。	—

事業アウトプット指標 2		
HISUI データの利用実証においては、主目的である石油資源探査の他、多様な分野への応用可能性を利用実証するため、各分野での利用実証に適切な地域の観測データを取得することが必要である。また利用実証後の実利用を推進するためには、可能な限り多くの観測データを取得することが必要である。これらを実現するために、衛星の地球周回軌道やダウンリンク・レート等の観測制約を踏まえつつ、観測効率の最大化を実現する観測計画策定手法を開発する。		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時（平成 22 年度）	計画：長期観測計画および短期観測計画の検討を開始する。	実績：長期観測計画および短期観測計画の検討を開始した。
中間評価時（平成 27 年度）	計画：長期観測計画の最適化に必要な長期観測シミュレーションソフトウェアを完成する。長期観測シミュレーションを実施し、様々な条件による長期観測状況への影響を把握する。短期観測計画の作成アルゴリズムを開発する。	実績：長期観測シミュレーションソフトウェアを完成させた。長期観測シミュレーションを実施し、様々な条件による長期観測状況への影響を把握した。短期観測計画の作成アルゴリズムを開発した。
終了時評価時	計画：HISUI が搭載される衛星を考慮して、長期観測計画策定方針の策定および短期観測計画の作成アルゴリズムの開発を実施する。	実績：HISUI が ISS に搭載されることを前提とした上で、その仕様に踏まえた長期観測計画策定方針の策定および短期観測計画の作成アルゴリズムの開発を実施した。
事業目的達成時	計画：データの高度利用を実証するために、HISUI の長期観測計画を達成する。	—

事業アウトプット指標 3	
①事業アウトカムで挙げた 7 分野における利用技術開発、およびハイパースペクトルセンサ・データの利用を支援するツールの開発を実施する。 ②研究開発内容にかかる論文および学会における発表を実施する。 7 分野における研究テーマは、事業開始時に行ったハイパースペクトルセンサに関する技術動向調査、ユーザ要求調査、およびセンサ要求調査の結果を踏まえて設定した。また、事業開始後も調査を継続して行い、社会情勢の変化や技術の進歩に合わせて新規の研究テーマを設定した。これらの研究テーマは、最終的に事業終了時のアウトカムとして、宇宙機に搭載されたハイパースペクトルセンサで実証する。以下は、7 分野のそれぞれで実施した研究テーマとその件数である。 （１－３－１）石油資源分野（４件） 「石油探鉱における適用技術・対象地域」、「オイルスリック解析技術」、「堆積盆鉱物マッピング」、「陸上油徴の検知技術」 （１－３－２）金属資源分野（４件） 「酸化鉄型銅金鉱床探査の技術・岩石鉱物識別技術」、「熱水性鉱床探査のための技術」、「金属資源探査における鉱物識別手法の検討」、「鉱石鉱物検出技術の開発」 （１－３－３）森林分野（２件）	

「樹種、樹高、材積量等の情報抽出手法」、「ナラ枯れ初期検知技術」 (1-3-4) 防災分野 (1 件) 「土砂災害の脆弱性評価」 (1-3-5) 農業分野 (7 件) 「牧草地の生産性評価」、「水稻の収量等推定 (国内)」、「茶の生育状況把握」、「水稻の収量等推定 (インドネシア)」、「小麦の収量・品質・生育状況推定」、「ケシ等植物の不法栽培監視」、「オイルパーム農園のモニタリング手法の開発」 (1-3-6) 環境分野 (3 件) 「中部カリマンタン泥炭湿地林のモニタリング手法」、「自然草地・自然林の植生分類可能性検討」、「半乾燥域から乾燥域での土壌塩分濃度推定手法」 (1-3-7) 海洋分野 (3 件) 「沿岸環境モニタリング (CDOM 等) 手法」、「サンゴの白化及び回復状況の把握」、「沿岸海域の推進測定技術の開発」 (1-3-8) 支援ツールの整備 (3 件) 「HISUI シミュレーションデータ作成技術」、「スペクトルデータベース/ライブラリの構築」、「利用ガイドブックの作成」		
指標目標値 (計画及び実績)		
事業開始時 (平成 18 年度)	計画：技術動向調査、ユーザ要求調査、センサ要求調査を踏まえて、高度利用に係る研究開発を開始する。	実績：なし
中間評価時 (平成 21 年度)	計画：高度利用に係る研究開発、および支援ツールの整備を開始する。	実績：森林分野で 1 件、農業分野で 4 件、海洋分野で 1 件の研究開発を開始した。また、支援ツールであるスペクトルデータベース/ライブラリの構築を開始した。
中間評価時 (平成 24 年度)	計画：高度利用に係る研究開発、および支援ツールの整備を継続して行う。	実績：石油資源分野の 1 件、森林分野の 2 件、農業分野の 2 件、海洋分野の 1 件の研究開発を完了した。また、支援ツールであるスペクトルデータベース/ライブラリの構築を継続して行うとともに、HISUI シミュレーションデータ作成技術の開発を開始した。
中間評価時 (平成 27 年度)	計画：高度利用に係る研究開発、および支援ツールの整備を継続して行う。また、HISUI シミュレーションデータを用いた事前実証を行う。	実績：石油資源分野で 1 件、金属資源分野で 3 件、農業分野で 4 件、環境分野で 2 件、海洋分野で 1 件の研究開発を完了した。さらに、既に完了している 7 つのテーマに対して HISUI シミュレーションデータを用いた事前実証を行った。また、支援ツールであるスペクトルデータベース/ライブラリの構築を継続して行うとともに、利用ガイドブックの作成を開始した。
終了時評価時	計画：高度利用に係る研究開発、	実績：石油資源分野で 1 件、金

	および支援ツールの整備を完了する。	属資源分野で1件、防災分野で1件、環境分野で1件、海洋分野で1件の研究開発を完了した。また、支援ツールであるスペクトルデータベース/ライブラリの構築と利用ガイドブックの作成を完了した。
事業目的達成時	計画：高度利用に係る研究開発の宇宙実証を完了する。	—

<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の 実施件数	ライセンス 供与数	国際標準へ の寄与	プロトタイプ の作成
249	—	2	0	—	0	—

なお、上記の中で平成27年度から平成29年度においては、論文数は33件、特許等件数は0件。

3. 当省(国)が実施することの必要性

ハイパースペクトルセンサから得られるデータの処理技術は、国際的に見て極めて高度な技術が要求されるために未だ研究段階であり、商業段階にはないものの、そのデータへの要望は世界的に拡大している。具体的には、従来のリモートセンシング市場における重要な購買層である資源探査会社、インテリジェンス機関、航空測量会社、地図作成会社等による活用だけでなく、環境観測・災害監視・森林観測・食糧分野等の産業利用が大幅に拡大することが期待されている。その一方で、衛星に搭載するセンサ及びそのデータの利用技術・処理技術の開発には大規模な初期投資が必要なため、民間による自主的な取組を期待することは難しい。

鉱物資源分野においては、資源価格高騰等により、資源国は豊富な資金を有し、資金面のみからのパートナーは必ずしも求めている状況の下、我が国リモートセンシング技術は、資源国から高く評価されるとともに、一部の資源メジャーとの関係構築に発展している。鉱物資源の供給に関しては制約やリスクが大きく、市場メカニズムのみによって安定供給確保を図ることが困難である中で、エネルギー基本計画に記載されている「2030年までに自主開発比率を40%以上にする」という目標に貢献するものであり、国が技術開発等に積極的に支援することが必要不可欠である。

平成27年1月に改訂された、宇宙基本計画において「現在開発中の災害予防・対応、地球環境観測や資源探査のための取組を着実に進める」と記載されており、政策目的の達成手段として必要かつ適切な事業である。

4. 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20に示す。事業開始から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、食糧安全保障への貢献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。

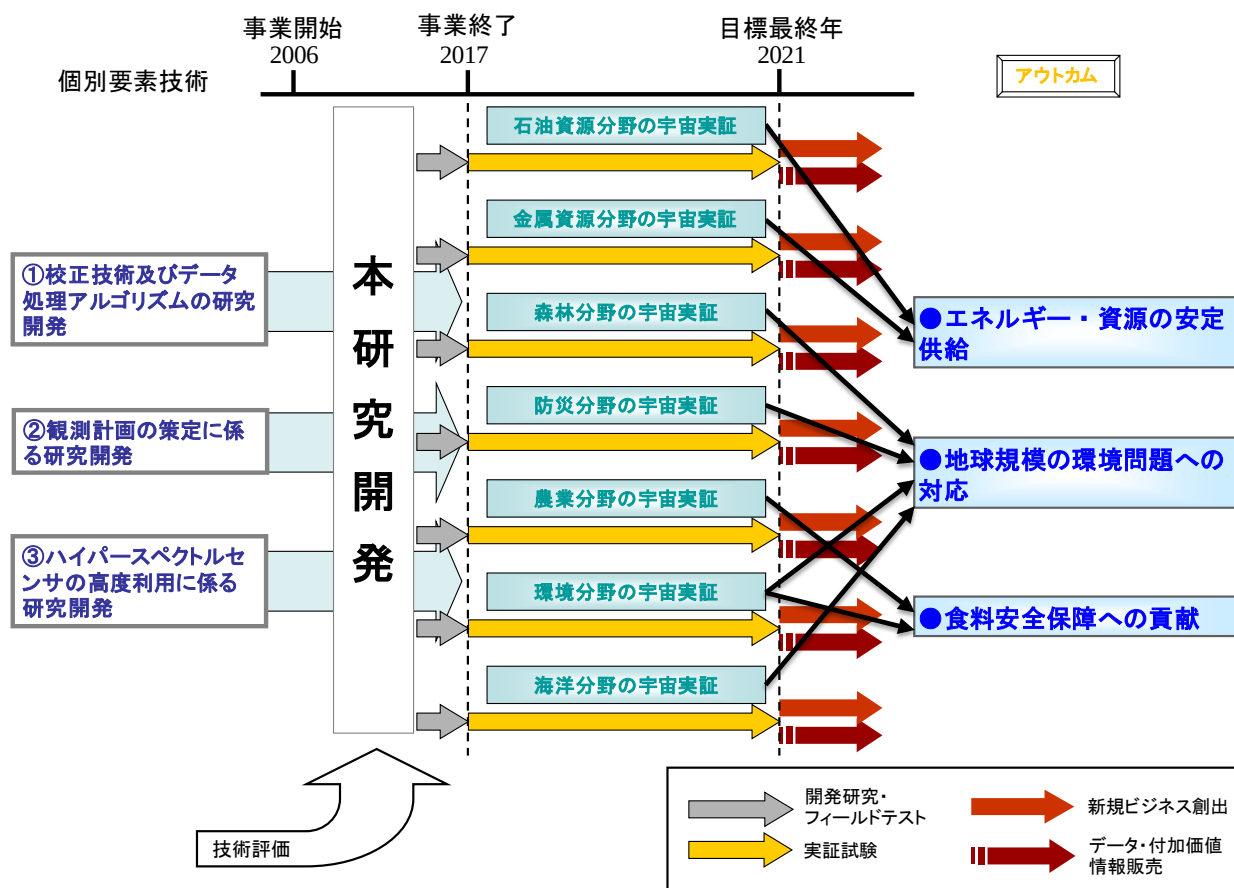


図 20 事業開始から目標最終年度、さらにその後のビジネス化に向けたロードマップ

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

研究開発の体制について図 21 に示す。もともと本事業では、ハイパースペクトルセンサを搭載する宇宙機に単独衛星を想定していたが、社会情勢の変化により ISS に搭載されることになった。そのため、①校正技術及びデータ処理アルゴリズムの研究開発、②観測計画の策定に係る研究開発、③ハイパースペクトルセンサ高度利用に係る研究開発の 3 つの個別要素技術において、衛星搭載を前提に開発した技術を ISS 搭載でも適用可能なように改修する必要が生じ、効率的・効果的に本事業の目標達成を目指すには、既存の宇宙機搭載センサにおいて実績と能力を有している実施機関が研究開発を担うことがコストパフォーマンス的にもふさわしい。こうした理由から、①校正技術及びデータ処理アルゴリズムの研究開発を産業技術総合研究所が、②観測計画の策定に係る研究開発と③ハイパースペクトルセンサ高度利用に係る研究開発を宇宙システム開発利用推進機構が継続して実施する体制とした。また、高度利用の潜在的なユーザーとなる研究機関等や民間企業等に研究開発を外注することで、将来的なハイパースペクトルデータによるリモートセンシングの実利用を推進するようにした。それぞれの機関における研究開発体制を以下に示す。

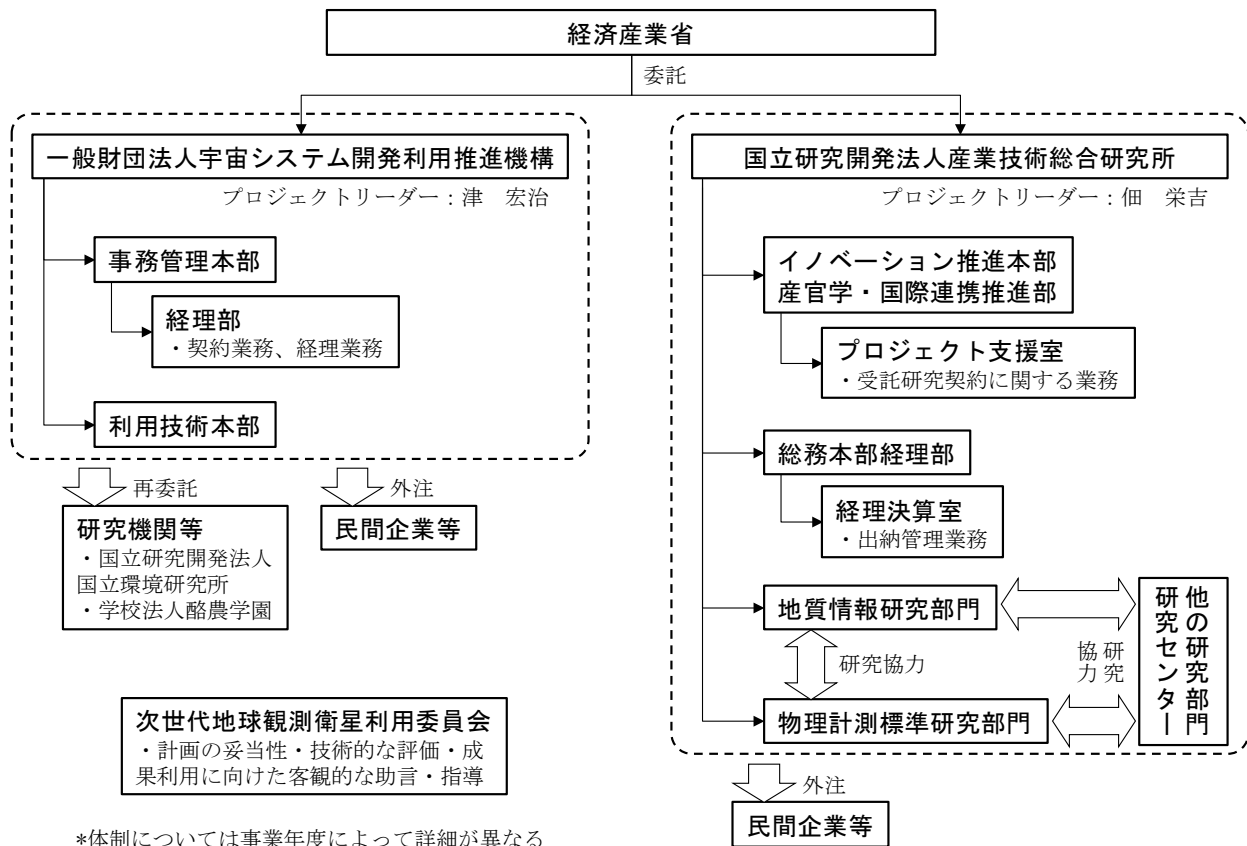


図 2 1 研究開発の実施・マネジメント体制

6. 費用対効果

BCC Research Market Forecasting “REMOTE SENSING TECHNOLOGIES AND GLOBAL MARKETS” による地球観測衛星の世界市場規模（2019 年予測）の金額に対して、ハイパースペクトルデータの市場が 20% で且つ日本はハイパースペクトルの市場の 10% を占めると想定して金額を計算した場合、森林分野では 1 億円、防災分野では 5 億円、農業分野では 13 億円、環境分野では 7 億円、海洋分野では 4 億円と試算される。石油資源分野や金属資源分野については、ハイパースペクトルデータを利用することによって日本の資源開発の総投資額が 1% 削減されるとして市場規模を想定した場合、それぞれ 15 億円と 6 億円とに試算される。

なお、アメリカの地球観測衛星 Landsat の経済効果分析によると、その経済効果は米国内で \$1.70billion、国際的に \$400million、合計 \$2.19billion と評価されている（表 2）。本事業で実利用を想定しているハイパースペクトルセンサは、Landsat よりも高機能であることから、これ以上の経済効果が期待される。

表 2 アメリカの地球観測衛星 Landsat の経済効果分析。利用分野別の経費の節約効果

利用分野	データ利用による節約効果
1. USDA Risk Management Agency	over \$100 million
2. U.S. Government Mapping	over \$100 million
3. Monitoring Consumptive Agricultural Water Use	\$20 - \$80 million
4. Monitoring Global Security	\$70 million
5. Landsat Support for Fire Management	\$28 - \$30 million
6. Forest Fragmentation Detection	over \$5 million
7. Forest Change Detection	over \$5 million
8. World Agriculture Supply and Demand Estimates	over \$3 - \$5 million
9. Vineyard Management and Water Conservation	\$3-5 million/year
10. Flood Mitigation Mapping	over \$4.5 million
11. National Agricultural Commodities Mapping	over \$4 million
12. Waterfowl Habitat Mapping and Monitoring	\$1.9 million/year
13. Coastal Change Analysis Program	\$1.5 million
14. Forest Health Monitoring	\$1.25 million
15. NGA Global Shoreline	over \$90 million (one time)
16. Wildfire Risk Assessment	\$25-50 million (one time)

引用資料: National Geospatial Advisory Committee - Landsat Advisory Group1
The Value Proposition for Landsat Applications - 2014 Update
<https://www.fgdc.gov/ngac/meetings/december-2014/ngac-landsat-economic-value-paper-2014-update.pdf>

Ⅱ. 外部有識者（評価検討会等）の評価

1. 総合評価

地球からの観測技術の活用が広がる中、ハイパースペクトルセンサへの期待は高い。その中で、ハイパースペクトルセンサにより取得できるデータについて、これまで実績のある石油資源に加えて、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋など様々な利用形態について利用拡大を図っている点が評価できる。

また、ハイパースペクトルセンサ（HISUI）の構成技術やデータ処理技術に関する研究開発や HISUI を用いた高度利用に関するデータ分析技術の開発などを完了するなど、軌道上運用開始後に必要となる校正技術が着実に得られていると認識でき、運用後に直ちに利用できる環境が整備されている。成果発表も当初の計画通りに進んでおり、本プロジェクトが順調に進んでいることが伺える。

一方で、宇宙開発を取り巻く環境が大きく変化し、高性能を目指して時間をかけるより、少し性能が落ちてでもいち早く宇宙で実証することが重要となってきた現状において、長期にわたるプロジェクトは時代とのズレを感じざるを得ない。今後は、特に日本が強みを発揮すべき分野ほど、時間をかける研究と、早く実証する開発を併用しながら、世界に先んじて実証することで優位性を得ることを考慮するのが良い。

ハイパースペクトルセンサ（HISUI）の開発とは独立した事業として進められているが、一体的に研究開発を進める方が効率が良いのではないと思われる。

事業終了後の責務として、知的財産（データベースを含む）の管理を含め、具体的な取組が示されていない。

本当にユーザーを獲得したければ、想定するだけでなく、模擬データ等を活用して、本当にユーザーがこういったものならば使えるのかを評価することで、事業アウトカムに繋がるロードマップの実現に繋がる。また、目標値はある程度数値を用いた設定が必要。

【肯定的所見】

- ・（A委員）総じて、良好なプロジェクト運営が達成されたと評価する。特に、石油資源、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋の7分野に及ぶシステミックな取り組みは範例モデルとなるといえる。
- ・（B委員）ハイパースペクトルセンサにより取得できるデータについて、これまで実績のある石油資源に加えて、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋など様々な利用形態について利用拡大を図っている点が評価できる。校正手法などの検討を進め、HISUI の運用並びにデータ利用について適切に準備が進んでいると考えられる。
- ・（C委員）地球からの観測技術の活用が広がる中、ハイパースペクトルセンサへの期待は高い。その利用を実施するためには、校正・データ処理などの基礎的であるが必須となる手法の開発は重要である。また、早い段階からユーザーの利用を検討していくとも重要である。
本研究開発において、様々な利用を想定し、それらに対する研究開発を進めてきたことは評価できる。
- ・（D委員）当初計画通りに事業目的が達成されたと見られる。
- ・（E委員）ハイパースペクトルセンサ HISUI の構成技術やデータ処理技術に関しての研究開発や HISUI を用いた高度利用に関するデータ分析技術の開発などを完了するなど、軌道上運用開始後に必要となる校正技術が着実に得られていると認識でき、運用後に直ちに利用できる環境が整備されていると認識している。成果発表についても当初の計画通りに進んでおり、本開発案件が順調に進んでいる事が伺える。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A委員）ただし、終了後のロードマップに関わる責務に関しては、知的財産（データベースを含む）の管理を含め、具体的な取り組みが示されていない。
- ・（B委員）経緯もあるのではないかとと思うが、ハイパースペクトルセンサの開発とは独立な項目として整理されているが、一体的に研究開発を進める方が、効率が良いのではないと思われる。運用面からの視点を搭載機器開発に効果的に反映することも重要ではないかと考えられる。
- ・（C委員）一方で、宇宙開発を取り巻く環境が大きく変化し、高性能を目指して時間をかけるより、少し性能がおちでもいち早く宇宙で実証することが重要となってきた環境においては、長期にわ

たるプロジェクトは時代からのズレを感じざるを得ない。今後は、特に日本が強みを発揮すべき分野ほど、時間をかける研究と、早く実証する開発とを併用することで、世界に先んじて実証することで優位性を得ることも考慮するのが良い。HISUI の打ち上げ機会をなかなか得ることができず、成果を得づらい状況であったのは、残念であるが、それはプログラムのマネジメントとして、今後、世界最高性能を目指すよりもスピードを重視することを念頭におくことで改善することが望ましい。

また、アウトカムの設定は簡単ではないが、「アウトカム指標の目標値」が、「事業アウトプット指標の達成」というのでは、アウトカムとアウトプットが同じになってしまう。アウトカムは、より総合的な価値の指標となるようにすべきである。

さらに研究開発のアウトプット指標として、なぜ論文・学会発表をすることが必要となるのか、明確ではない。本来のアウトカム設定ができていれば、単なる発表ではなく、アウトカムにつながるものが評価可能となる。

また、本当にユーザーを掴みたければ、想定するだけでなく、模擬データ等を活用して、本当にユーザーに向き合って、どういったものであれば使えるのかの評価をおこなうことが、アウトカムにつながるロードマップの実現につながる。

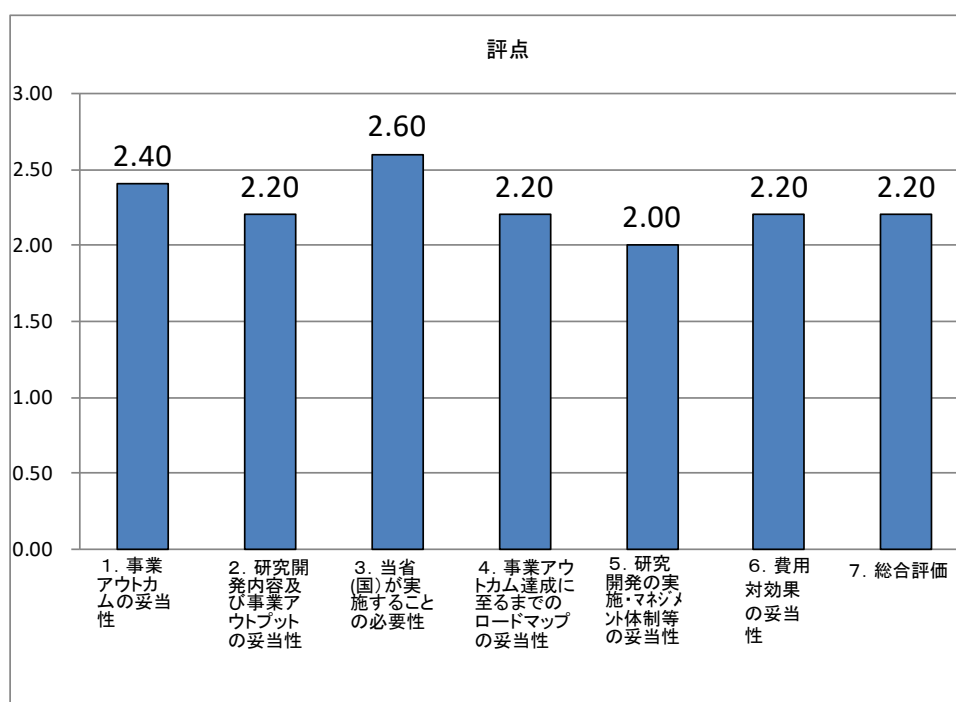
- ・(D委員)「①校正技術及びデータ処理アルゴリズムの研究開発」におけるアウトプット指標は、定量的な指標も含めた方が望ましい。
- ・(E委員)以下の点について、ご配慮を頂きたい。
 - アウトカムとアウトプットの混同が見受けられるため、切り分ける必要が有る。「事業アウトプット指標を達成する(した)」はアウトカムの指標や達成状況にはならない。
 - 目標値はある程度数値を用いた設定が必要である。

Ⅲ. 評点法による評価結果

評点法による評点結果

(次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発(終了時評価))

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.40	3	3	1	2	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.20	3	3	1	2	2
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.60	3	3	2	2	3
4. 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	2.20	2	3	2	2	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.00	2	3	1	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.20	3	3	1	1	3
7. 総合評価	2.20	3	3	1	2	2



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～ 6.

- 3 点：非常に重要又は非常に良い
- 2 点：重要又は良い
- 1 点：概ね妥当
- 0 点：妥当でない

評価項目 7. 総合評価

(終了時評価の場合)

- 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、成果等が今一步のところがあった。
- 0 点：実施された事業は、成果等が極めて不十分のところがあった。

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）

I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

プロジェクト名	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（旧：ハイパースペクトルセンサ等の研究開発）
行政事業レビューとの関係	平成 29 年度行政事業レビューシート（事業番号 0159）
上位施策名	①日本再興戦略 2016（平成 28 年 6 月 2 日閣議決定） ②産業構造ビジョン 2010（平成 22 年 6 月 3 日産業構造審議会産業競争力部会報告書） ③エネルギー基本計画（平成 26 年 4 月 11 日閣議決定） ④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

プロジェクトの目的・概要

ハイパースペクトルセンサは宇宙から地球表面を観測するセンサである。資源探査用衛星センサである ASTER（1999 年打上げ。既に設計寿命（5 年）を超えて運用中）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。このデータを解析することによって石油埋蔵地域のより詳細な特定を行うことができるため、今後の石油資源の安定的な確保に非常に有用である。

ASTER センサと比較し、スペクトル分解能を向上（バンド数：14→185）させたハイパースペクトルセンサを開発する。ASTER では 10 種類程度の地表鉱物の推定が可能であったが、ハイパースペクトルセンサでは、30 種類程度の鉱物の特定ができる。このセンサにより、一層精度の高い石油資源の遠隔探知（リモートセンシング）が可能になるほか、事業化段階における効率的なパイプライン建設、周辺環境への影響評価（土壌汚染、水質汚濁、森林・農業への影響）への利用が可能となるため、国際宇宙ステーション（ISS）に搭載した宇宙実証を行う。

予算額等（委託）

(単位：百万円)

開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成 19 年度	平成 33 年度 （予定）	平成 27 年度	平成 34 年度 （予定）	（一財）宇宙システム開発利用 推進機構
H27FY 執行額	H28FY 執行額	H29FY 執行額	総執行額	総予算額
871	1,149	1,149	15,046	15,194

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標
【アウトカム指標】 ①センサそのものまたはセンサを搭載した衛星システム（地上局含む）を販売する事業、②衛星から得られる観測データや付加価値をつけた情報を販売する事業、の 2 種類の事業化を考えている。また事業化に至る前提として、ハイパースペクトルセンサは、ISS への搭載を想定し、平成 31 年度以降の打上・宇宙実証を想定している。この ISS での軌道上実証をもってセンサの実用化を確認することとする。 また、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。 【アウトカム指標設定の根拠】 ①近年、海外では低価格の衛星やセンサを複数組み合わせたコンステレーションによる複数衛星

による地球観測のニーズが出てきている。そこでハイパースペクトルセンサというユニークなセンサとして海外への販売や技術提供、更には地上システムを含む衛星システム全体の提供を、官民の連携による海外売込みを推進していくことが重要である。②ハイパースペクトルセンサは沢山の波長を有していることから、高付加価値情報を広い分野に提供出来る可能性を有している。このため、現在開発中のセンサによる情報の活用を広く官民に促し、データ提供及び利用事業の発展を目指すことで市場の掘り起こしに務めることが重要である。		
指標目標値		
事業開始時（平成 19 年度）	計画：将来のアウトカム指標達成に向け、必要となる技術開発等の検討を行う。	実績：将来のユーザを想定したスペック等に係るヒアリング等を行った。
中間評価時（平成 30 年度）	計画：将来のアウトカム指標達成に向け、必要となる技術開発やデータ利用促進に係る検討等を行う。	実績：計画に基づき、技術開発等を行った。
終了時評価時（平成 34 年度）	計画：ISS での軌道上実証をもってセンサの実用化を確認する。	実績：－
目標最終年度	計画：①センサそのものまたはセンサを搭載した衛星システム（地上局含む）を販売する事業、②衛星から得られる観測データや付加価値をつけた情報を販売する事業、の 2 種類の事業化を達成する。	

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

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。既に設計寿命 5 年を超えて運用中) 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埋蔵地域のより詳細な特定を行うことができるため、今後の石油資源の安定的な確保に非常に有用である。HISUI を開発し宇宙実証を行って、我が国への石油資源の安定供給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。

ハイパースペクトルセンサの開発目標諸元を表 2-1 に示す。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、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。すなわち、航空機ハイパー、Hyperion などのデータを実際に使用しているユーザから高 SN データが必須との要望があり、世界的にも最高水準にある以下の SN が可能な目標とした。

VNIR（可視近赤外）	450 以上
SWIR（短波長赤外）	300 以上

宇宙実証は、ハイパースペクトルセンサを ISS に搭載して行う予定である。宇宙実証に係る本研究開発要素は、A ハイパースペクトルセンサの開発、B 曝露ペイロード¹²の開発、C 宇宙実証システムの開発、からなる。図 2-1 に全体システムの構成を示す。

¹² ・曝露ペイロード：宇宙ステーション (ISS: International Space Station) の日本実験棟(JEM: Japan Experimental Module) 曝露部に搭載されるミッション装置 (ペイロード)

表2-1 ハイパースペクトルセンサの最終開発目標

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 μ m
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

注3) 設計寿命 3年以上、目標寿命 5年

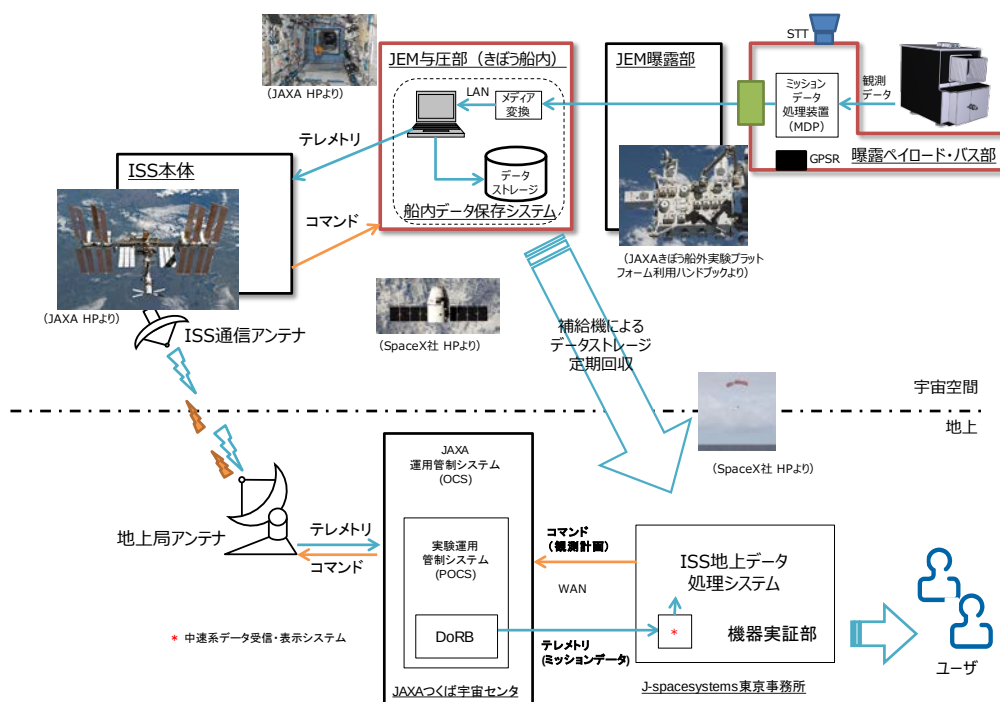


図 2-1 HISUI 全体システム構成

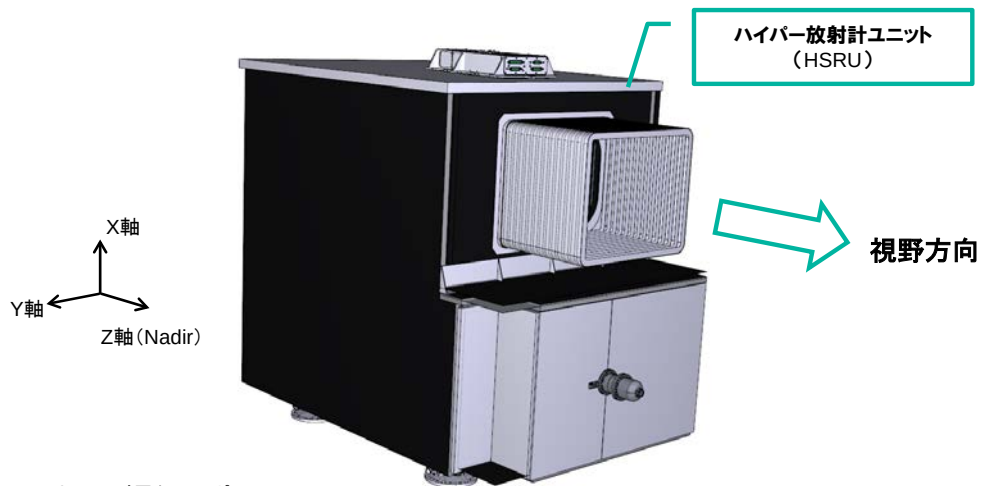
A ハイパースペクトルセンサの開発

ハイパースペクトルセンサは、平成 19～26 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。また平成 23～26 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。平成 27～28 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。

また平成 27 年度より ISS に搭載して宇宙実証するための機能強化を開始した。目標性能の適合性検討および詳細設計を実施している。

ハイパースペクトルセンサの外観、内部構造図を図 2-A-1、図 2-A-2 に、機能系統図を図 2-A-3

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-A-1 ハイパースペクトルセンサ外観図

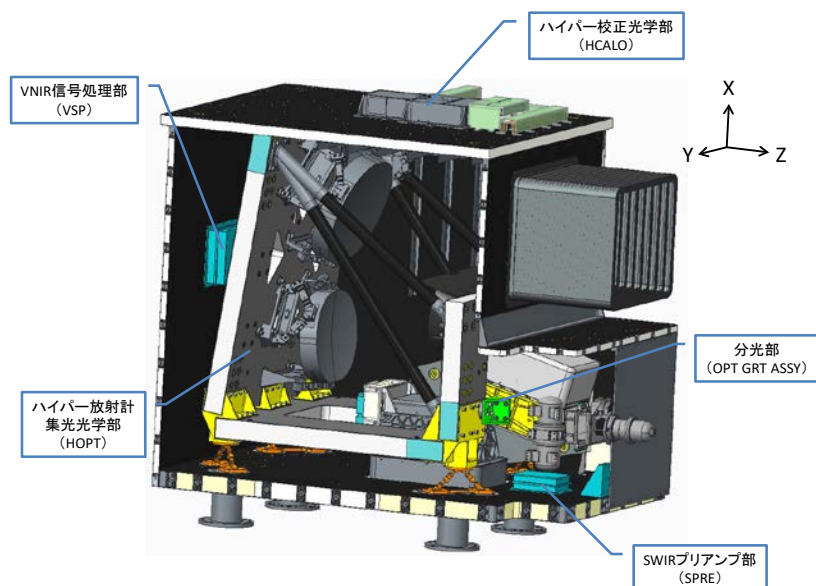


図 2-A-2 ハイパースペクトルセンサ放射計ユニット (HSRU) 内部構造図

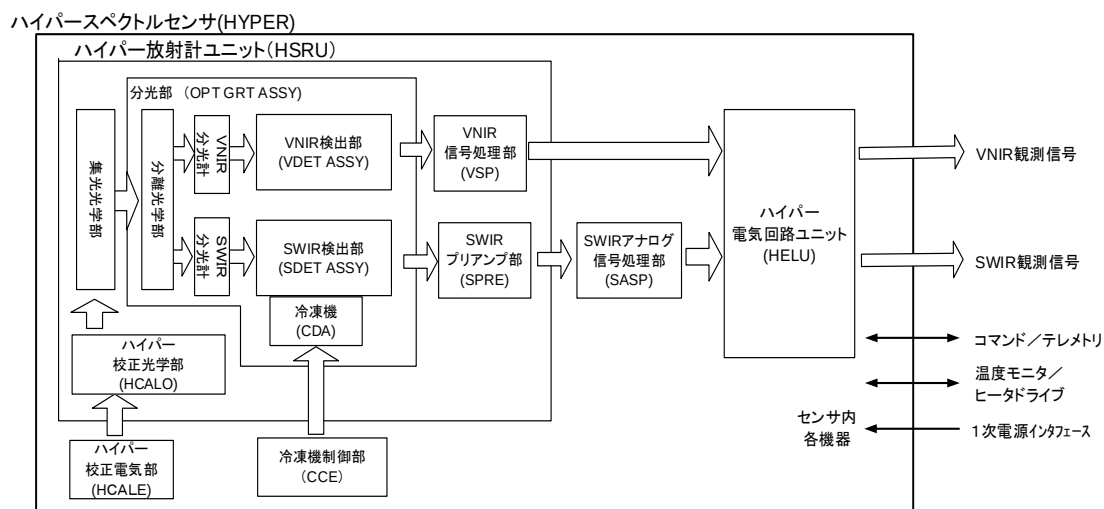


図 2-A-3 ハイパースペクトルセンサ機能系統図

① システム・インテグレーション

ハイパースペクトルセンサを構成するハイパー放射計ユニット(HSRU)に関して、ユニットレベルのインテグレーションの検討に基づき作成された手順書にしたがって放射計ユニットのインテグレーションを行った。計画されていたインテグレーション作業をすべて行い、試験フェーズへ問題無く移行した。

ハイパー放射計ユニットは、以下に示す光学サブアセンブリおよび 3 つのコンポーネントと、これらのサブアセンブリおよびコンポーネントを適切な精度で保持するための構造体と計装からなる。

- ・ハイパー放射計サブアセンブリ (HSRU)
 - －ハイパー放射計集光光学部 (HOPT)
 - －分光部組立 (OPT GRT ASSY)
- ・ハイパー校正光学部 (HCALO)
- ・SWIR プリアンプ部 (SPRE)
- ・VNIR 信号処理部 (VSP)
- ・構造体
- ・計装

② 試験

プロトフライト試験の検討をおこない、検討の結果作成された試験手順書に従って放射計ユニットのプロトフライト試験を行った。また、ハイパースペクトルセンサシステムとしてプロトフライト試験を行った。以下にプロトフライト試験の概要について述べる。なお、ハイパースペクトルセンサはハイパー放射計ユニット、コンポーネント類から構成されるので、コンポーネントについてもプロトフライト試験の概要について述べる。

ア コンポーネントプロトフライト試験

ハイパースペクトルセンサを構成する以下のコンポーネントに関してプロトフライト試験を行い、プロトフライト試験報告会等において報告を行った。この結果、製造、検査及び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、仕様書の要求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。

《対象コンポーネント》

- ・SWIR アナログ信号処理部 (SASP)
- ・ハイパー校正電気部 (HCALE)
- ・冷凍機制御部 (CCE)
- ・ハイパー電気回路ユニット (HELU)

イ ハイパー放射計ユニットプロトフライト試験

放射計ユニットのプロトフライト試験を行いプロトフライト試験終了後、これらの成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。



図 2-A-4 振動試験セットアップ状況

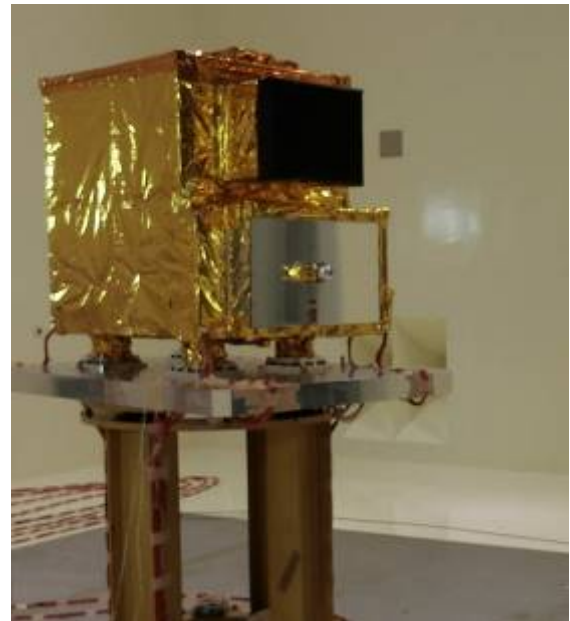


図 2-A-5 音響試験セットアップ状況

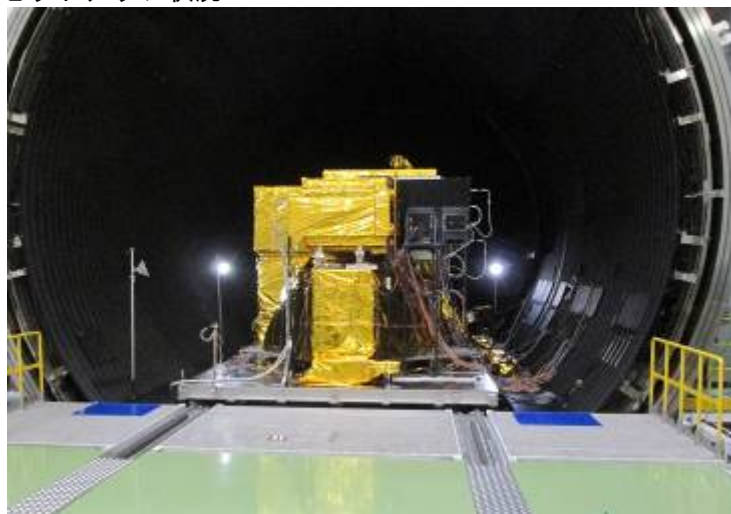


図 2-A-6 熱真空・熱バランス
試験セットアップ状況

最終電気・光学性能試験については、コリメータを使用した初期電気・光学性能試験と同様の試験コンフィギュレーションの他に、2通りの試験コンフィギュレーションで試験を実施した。ひとつは、コリメータに替えてモノクロメータを使用してスペクトラルな項目に関して試験を行った。もうひとつは、コリメータに替えて積分球を使用してラジオメトリックな項目に関して試験を行った。試験の結果、各試験項目に関して試験仕様の規格を満足していることを確認した。

ウ ハイパースペクトルセンサ試験

ハイパー放射計ユニットとハイパースペクトルセンサの各独立コンポーネントであるハイパー電気回路ユニット（HELU）等を合わせたハイパースペクトルセンサとしての総合試験として実施した。試験の結果、各試験項目に関して試験仕様の規格を満足していることを確認した。

プロトフライト試験終了後、これらの成果は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。審査においては「第1回 高性能ハイパースペクトルセンサ等研究開発技術委員会」のレビューを受けた（2017年3月6日開催）。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。

③ 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。そのため、構造・熱制御設計の変更に係る開発は、曝露ペイロードバス部の設計終了時点で調整していく方策をとった。

ア センサ目標性能の適合性検討

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確認した。表 2-A-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-A-1 目標性能の適合性

No.	項目	達成目標	適合性
①	空間分解能	20m × 30m	適合 20m (CT) × 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 μ m	適合 VNIR: 0.4 ~ 0.97 μ m SWIR: 0.9 ~ 2.5 μ m
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 注 1	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

イ 詳細設計

（システム電気設計）

ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサの電気系詳細設計及びシステム電気設計を実施した。その結果、以下の2点について、ISS 搭載に向けて変更のあることが識別された。

- ① 電源ライントランジェント条件及び EMC 規定
- ② 放射線環境条件

（構造数学モデルの提示）

曝露ペイロードバス部構造解析用のハイパースペクトルセンサ「HSRU I/F 構造数学モデル」に変更はない。

（熱数学モデルの提示）

曝露ペイロードバス部熱設計解析のため、ハイパースペクトルセンサ部の「HSRU I/F 熱数学モデル」の改版を行った。

（サーモスタット追加に関する設計解析）

ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサの打上時および軌道上運用時の熱解析の結果、ハイパー放射計ユニット（HSRU）の一部の温度が仕様下限値を下回るため、Dragon 宇宙船と ISS ロボットアームからの給電によるヒータ制御系統（S-BOX）を追加する変更設計を検討した。

ウ 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、曝露ペイロードシステムと共にフェーズ 0/1 について審査を受け、合格している。

B 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-B-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平成 27 年度より開始した。

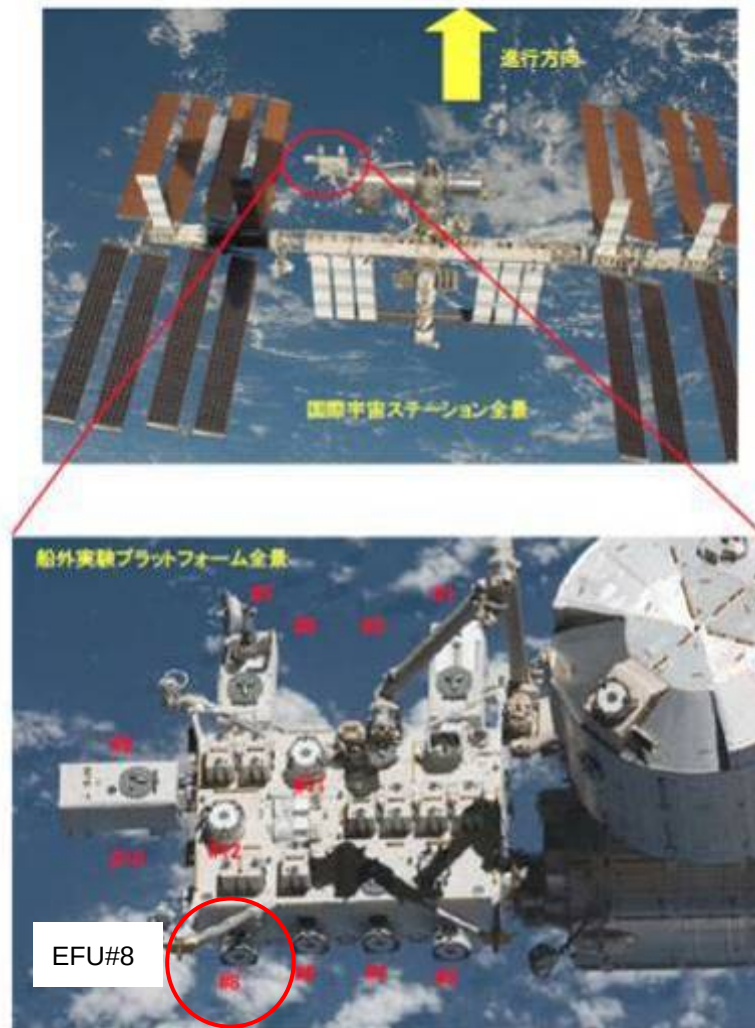


図 2-B-1 国際宇宙ステーション (ISS) と JEM 曝露部

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 (図 2-1)。

① 曝露ペイロードシステム

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-B-2 に、システムブロック図を図 2-B-3 に示す。

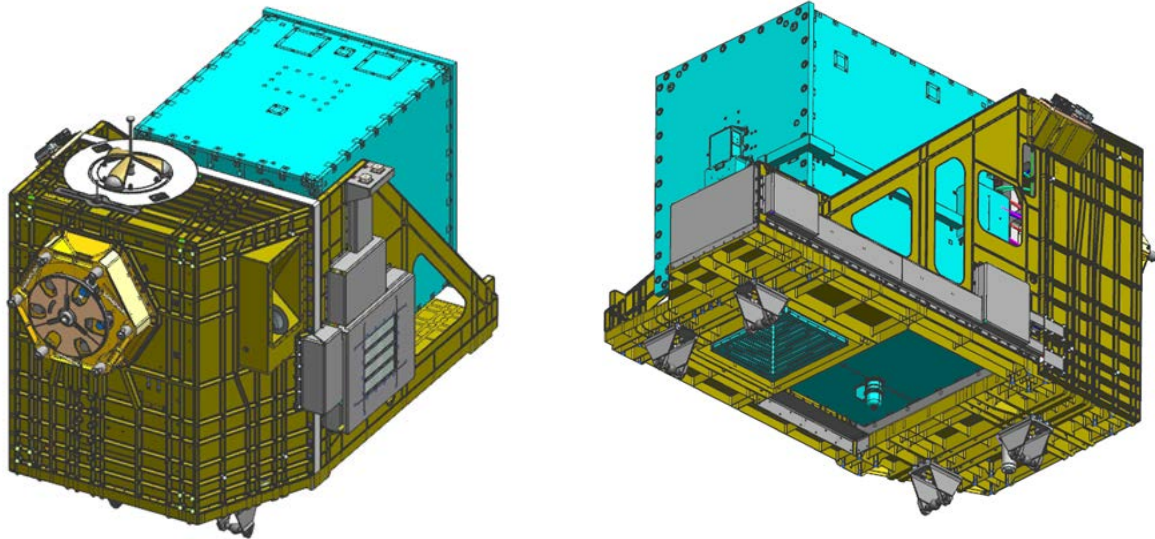
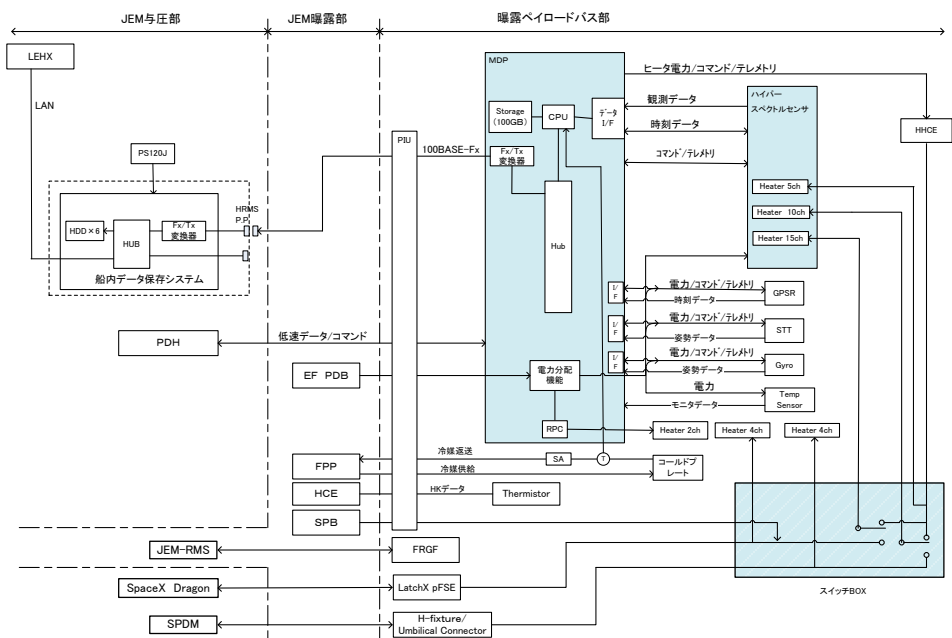


図 2-B-2 曝露ペイロードシステム外観図



(ハイパースペクトルセンサ機器搭載状態)

図 2-B-3 曝露ペイロードバス部 システムブロック図

ア システム設計

平成 27～29 年度は基本設計・詳細設計を行い、詳細設計審査会（CDR1:平成 29 年 7 月、CDR2:平成 29 年 9 月）において、熱設計問題を除いて最終目標性能を達成可能であることを確認し、製造に移行した。

a. 形状／構造設計／質量設計

曝露ペイロードシステムの形状は、各種要求条件を満足するように設計を行った。

また Dragon 打ち上げ、ロボットアーム移設、JEM 係留中の各運用フェーズでの剛性要求を満足することを確認するため剛性解析を実施した。特に解打ち上げ時剛性について Dragon 輸送機との Coupled Load Analysis (CLA) により荷重条件の妥当性を確認するため NASA/SpaceX 社に CLA を依頼し、全運用フェーズで剛性要求を満足する事を確認した。製造から廃棄に至るまでの荷重に対して、

規定された安全率を確保出来、強度要求を満足する見通しを得た。

質量は、Dragon、SPDM、JEM 曝露部の各要求から、ノミナル 550 [kg] / max 570 [kg] 以下の開発仕様が要求され、要求を満足するよう設計を行った。質量中心、慣性能率に対する要求についても、機器配置を適切に行うことで各インタフェース要求を満足するよう設計した。

b. 電源系

図 2-B-4 に電源ブロック図を示す。電源は、Dragon 輸送機（打上～係留時）、ISS/SPDM（ロボットアームによる移設時）および JEM（運用時）である。；

- ・ 実験用電力をミッションデータ処理装置（MDP）に供給し、MDP からヒータ、ハイパースペクトルセンサ、サポートセンサ、HHCE 等に電力を供給できる。また MDP が有する電力遮断器（RPC）により各機器への電力供給を制御できる。
- ・ サバイバル用電力を HSRU ヒータ切換ボックス（S-box）に供給し、S-box からヒータに電力を供給できる。
- ・ Dragon Cargo 用電力を S-box に供給し、S-box からヒータに電力を供給できる。
- ・ SPDM 用電力を S-box に供給し、S-box からヒータに電力を供給できる。

c. 熱制御系（ATCS、PTCS）

(i) 能動熱制御系(ATCS)

JEM 曝露部から曝露ペイロードシステムに排熱を吸収するための冷媒が供給される。機器に取付けたコールドプレートを通し冷媒へ排熱する ATCS について設計を実施した。JEM 全体流量削減のため、バイパスラインを削除して曝露ペイロードシステムへの流量配分を減らしている。

(ii) 受動熱制御系(PTCS)

曝露ペイロードシステムの外表面における熱放射により排熱する受動熱制御について、以下の各フェーズについて、熱数学モデルを Dragon 輸送機または ISS の熱モデルに組み込んで解析、検討を実施した。

- Dragon 搭載・Dragon 単独飛行時
- Dragon 搭載・Dragon ISS 結合時
- Dragon → JEM 曝露部移設時
- JEM 曝露部結合時

解析結果に基づき、ヒータ系統を設計し、使用するヒータおよびサーモスタットを選定した。また曝露ペイロードシステムを覆う多層断熱材(MLI)の設計を実施した。

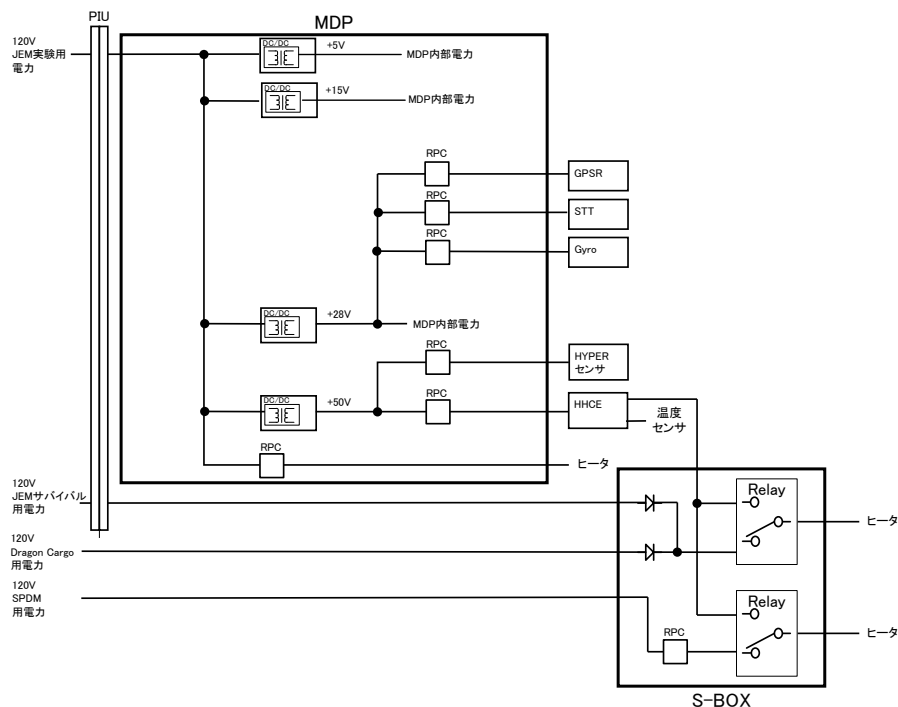


図 2-B-4 電源ブロック図

d. ミッションデータ処理装置 (MDP)

ミッションデータ処理装置（MDP）は、曝露ペイロードシステムの通信・制御系および電力系の制御を行う電子機器である。開発仕様を確定し基本設計を行って、平成 28 年 8 月に MDP 単体としての基本設計審査会（PDR）を実施した。その後、詳細設計とエンジニアリングモデル（MDP/EM）の設計、製作、試験を経て平成 29 年 7 月に詳細設計審査会（CDR）を行い、プロトフライトモデル（MDP/PFM）の製作、試験に移行する結論を得た。現在は、MDP/PFM の製作中である。また MDP ソフトウェアの要求使用を制定し、設計を行なって平成 29 年 7 月にソフトウェア設計確認会を実施し、製作に移行した。図 2-B-5 に MDP/EM の外観を示す。

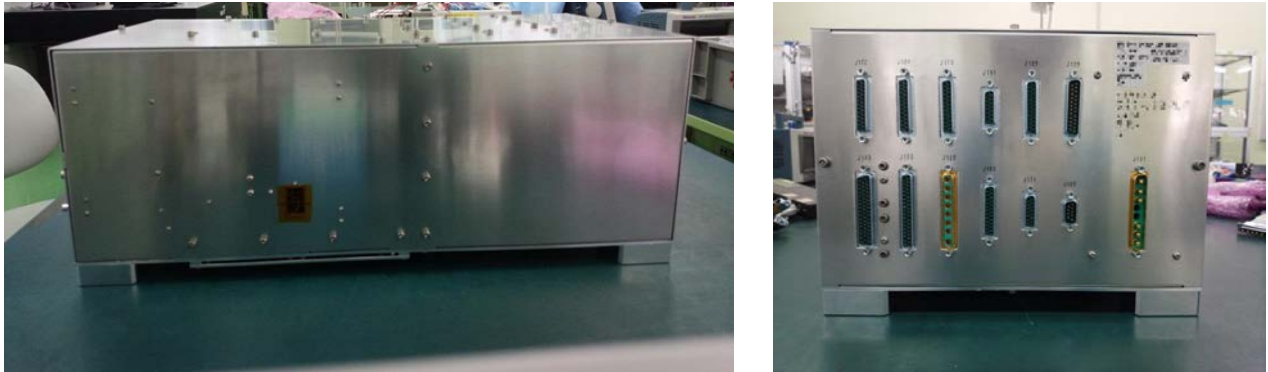


図 2-B-5 MDP/EM の外観図

MDP の主な機能を以下に示す。

- ・ハイパースペクトルセンサが取得した観測データの収集機能
- ・ハイパースペクトルセンサから収集した観測データの MDR-PM への転送機能
- ・ハイパースペクトルセンサへのコマンド送信機能
- ・ハイパースペクトルセンサからのテレメトリ受信機能
- ・サポートセンサへのコマンド送信機能
- ・サポートセンサからのテレメトリ受信機能
- ・JEM との通信インタフェース機能
- ・JEM 供給電力の受電・制御機能
- ・曝露ペイロードバス部搭載機器への給電機能
- ・曝露ペイロードバス部搭載温度センサのデータ収集機能
- ・曝露ペイロードバス部搭載ヒータの制御機能
- ・MDP が収集したテレメトリの編集機能
- ・MDP 搭載ソフトウェアのアップデート機能

e. 通信系

通信系は、曝露ペイロードシステム内に搭載されるミッションデータ処理装置（MDP）と JEM と圧部内に搭載される船内データ保存システムに配置され、以下の機能を有する。；

- ・曝露ペイロードシステムは、MDP を介して低速データ伝送系により JEM の通信制御系のペイロードデータ処理装置と通信する機能を有する。また高速データ伝送系を介して船内データ保存システムと通信ができる。
- ・曝露ペイロードシステムは、MDP を介してハイパースペクトルセンサ、サポートセンサ（STT、GPSR、Gyro）等と通信ができる。

基本設計、詳細設計を行なった。

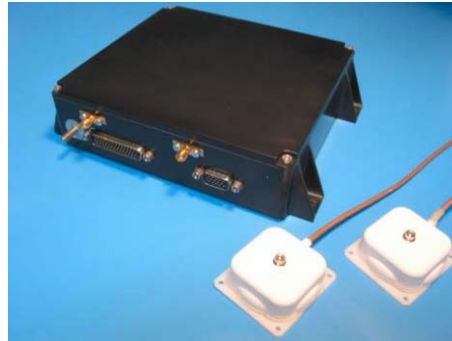
f. サポートセンサ

ハイパースペクトルセンサにより観測を行う際には、観測方向が地表のどの位置を指向しているかを精度よく知る必要がある。センサの指向方向を決定するためには、観測データと同時に曝露ペイロードシステムの位置・姿勢・時刻情報を取得する。これらの情報を取得するために、曝露ペイロードシステムには、3 種類のサポートセンサ、すなわち、スターセンサ（STT）、GPS 受信機（GPSR）、

ジャイロセンサ(Gyro)を搭載している。サポートセンサの仕様については、ミッション要求からの指向精度要求を満足できる性能の機種を選定した。図 2-B-6 に各サポートセンサの外観図を示す。



(b) スタートラッカ (STT)



(a) GPS 受信機 (GPSR)



(c) ジャイロセンサ (Gyro)

図 2-B-6 サポートセンサ外観図

イ 調達・製造

長納期部品・コンポーネントの調達を行った。一部の部品・コンポーネントを除いて調達済みであり、残りは平成 30 年度以降で調達していく。

ミッションデータ処理装置 (MDP) は、プロトフライトモデル (MDP/PFM) の製作、試験を実施した (平成 30 年度まで継続)。また MDP ソフトウェアの製作・単体試験を実施した。

ウ 残課題 (熱設計対応)

曝露ペイロードシステムの熱設計解析を実施した結果、ハイパースペクトルセンサの許容温度範囲 (0~40℃) を逸脱する事が明らかになり、その対策として形状設計変更および、Dragon 輸送機 (打上~係留時)、ISS/SPDM (ロボットアームによる移設時) および JEM (運用時) からハイパースペクトルセンサのヒータに供給される電力を制御する Switch-box (S-box) を設計し、プロトフライトモデルの製作に着手した。この設計変更の効果を確認すべく、Dragon 輸送機の打ち上げ・自由飛行および係留時での熱解析 (MRAD 解析を NASA/SpaceX 社に依頼している (注: 平成 30 年 6 月時点で、許容温度逸脱箇所はほとんどなく、現設計で問題ない事を確認している)。

② 船内データ保存システム

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リンクする。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リンクする。図 2-B-7、2-B-8 に船内データ保存システムの外観図とシステムブロック図を、表 2-B-1 にシステム仕様を示す。

表 2-B-1 船内データ保存システム 仕様概要



図 2-B-7 船内データ保存システムの外観図

項目	仕様	備考
打上形態	CTB(Cargo Transfer Bag)に梱包	
寸法	400 L × 260 W × 140 H〔mm〕	JEMと圧部との接続ケーブルを除く。
質量	ノミナル 8〔kg〕, max. 10〔kg〕	HDD6台、接続ケーブルを除く。
消費電力	平均最大消費電力 : 50〔W〕 ピーク最大消費電力 : 60〔W〕	
通信系	中速データ伝送系(LAN) 高速データ伝送系(光LAN)	
熱制御系	ファンによる強制空冷	

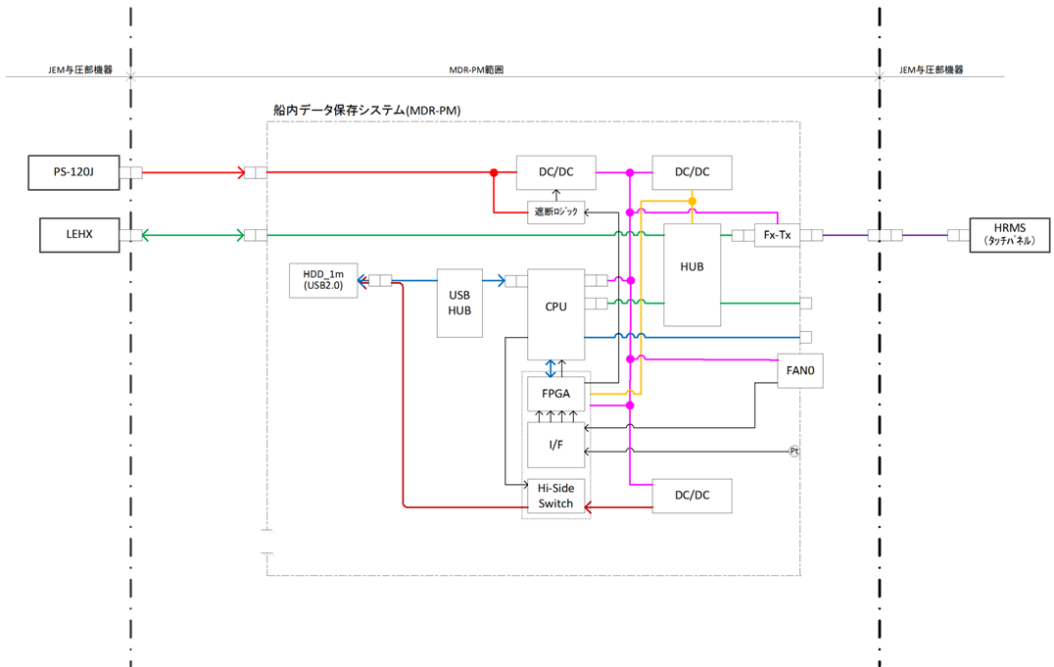


表 2-B-8 船内データ保存システムブロック図

ア システム設計

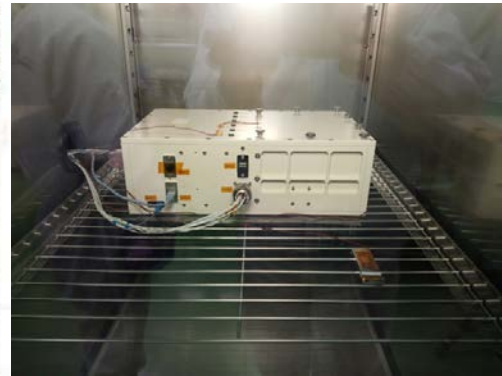
平成 27～29 年度は基本設計・詳細設計を行い、詳細設計審査会（CDR1:平成 29 年 7 月）において最終目標性能を達成可能であることを確認し、製造・試験に移行した。

イ 製造・試験

平成 29 年度に製作及び試験を行った。図 2-B-9 に試験実施時の写真を示す。



a. 熱サイクル試験セントアップ



b. 振動試験



c. EMC 試験



d. SSPS2015 試験

図 2-B-9 船内データ保存システムの試験

③ ISS、JEM および輸送機とのインタフェース調整

ア 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」

平成 27 年度～平成 28 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（平成 29 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。

イ 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-B-10）。



図 2-B-10 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。Dragon IDD の要求事項を満足するように詳細設計を行い、Dragon への搭載・打ち上げの成立性を確認した。図 2-B-11 にその搭載図を示す。

一方、Dragon 輸送機との機械的・電氣的インタフェースである結合機構については、Dragon 輸送機側の改良設計（LatchX pFSE V2.0）結果に対して追加評価を行った。

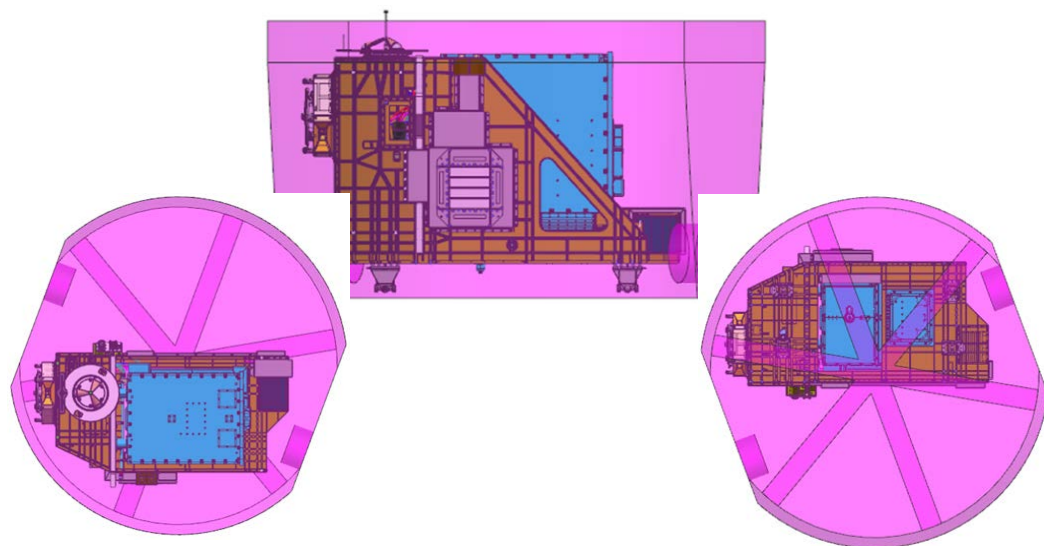


図 2-B-11 Dragon 搭載図

ウ 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（図 2-B-12）、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（図 2-B-13）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。

SSP 文書で要求される H-fixture/MTC Target の取付け精度、把持エンベロープ、EVA エンベロープ等の要求を満足するよう設計を行った。



図 2-B-12 H-fixure/MTC Target

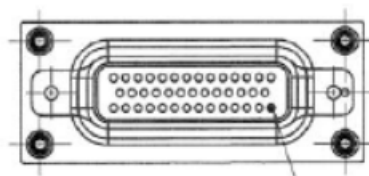


図 2-B-13 アンビリアル・コネクタ

④ 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-B-2 に HISUI の安全審査実施スケジュールを示す。曝露ペイロードシステムはフェーズ 0/1 の安全審査が終了（JAXA フェーズ 0/1 安全審査（平成 29 年 5 月）、NASA フェーズ 0/1 安全審査（平成 29 年 10 月）しており、曝露ペイロードシステムはフェーズ 2 安全審査に向けて、船内データ保存システムは JAXA フェーズ 0/1/2 安全審査に向けて準備中である（注：船内データ保存システムはハザードの程度が低いと評価され、JAXA のみの審査、またフェーズ 0/1 とフェーズ 2 を一緒に実施する事になっている）

表 2-B-2 安全審査実施スケジュール

審査対象	FYH29 (2017)		FYH30 (2018)		FYH31 (2019)	
曝露ペイロードシステム	▼ JAXA φ0/1 SRP	NASA φ0/1 SRP ▼	▽ JAXA φ2 SRP	NASA φ2 SRP ▼	▽ JAXA φ3 SRP	▽ NASA φ3 SRP
			Ground φ0/1/2 SRP ▼	Ground φ3 SRP ▼		
船内データ保存システム	▼ JAXA φ0/1/2 SRP		▼ JAXA φ3 SRP			

C 宇宙実証システムの開発

宇宙実証支援システムは、宇宙実証等によるハイパースペクトルセンサの性能評価を支援するための地上システムであり、大別して①地上データ処理システム、②解析システム（機器実証部）から構成される。

地上システムは、衛星搭載対応システムとして、(a)利用者より HISUI の観測要求を受け付け、観測計画を立案する機能、(b)観測したデータに幾何補正、放射補正等を施し画像データを生産・保存する機能、(c)ユーザからの画像検索・注文・配付を行う機能、(d)センサの機能、性能を検証する機能、(e)センサの校正処理を評価する機能等を有する総合地上システムである。図 2-C-1 に地上システムの全体図を、また表 2-C-1 に地上システムで取り扱うプロダクトを示す。

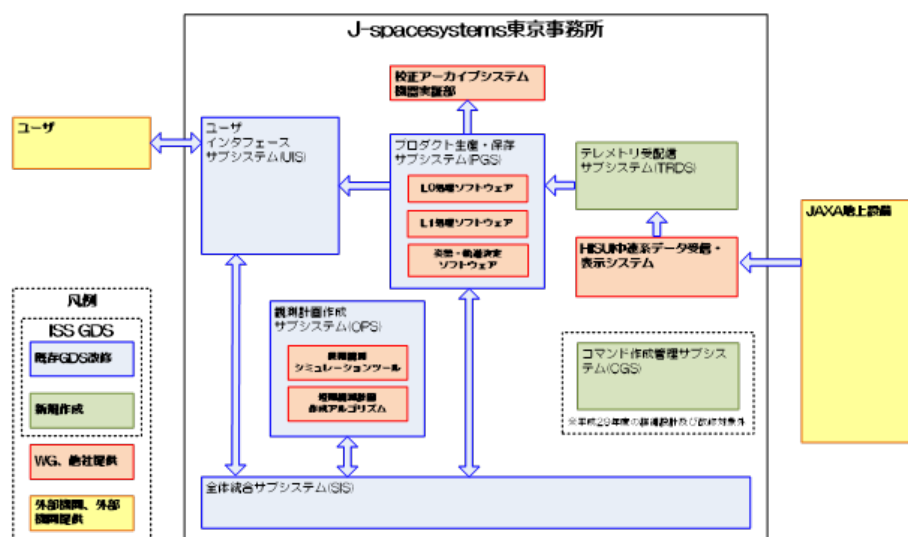


図 2-C-1 地上システムの全体図

① 地上データ処理システムの開発

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、平成 26 年度まで衛星搭載センサ用のシステムとして設計、製造作業を実施して来ている。平成 27～28 年度はそれらの試験と維持設計を実施した。また平成 27 年度からは ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサの宇宙実証用に改修設計を実施し、基本設計審査会 (PDR、平成 29 年 3 月)、詳細設計審査会 (CDR、平成 30 年 1 月) を通じて設計結果の審査を行って最終目標を達成可能であることを確認して製造に移行した。

ア 衛星搭載センサ用地上データ処理システムの開発 (平成 27～28 年度)

a. インタフェース試験

機器実証部ー地上データ処理システム、ミッション運用局ー地上データ処理システム間のインタフェース試験を行い、地上データ処理システムの衛星搭載を前提とした運用性を確認した。

b. 維持設計

以下の維持設計を行なった。

- ・欠損画素の補間対応
- ・雪氷域を判断する方法の検討
- ・1G プロダクトシーンカット方法の変更対応

表 2-C-1 地上システムで取り扱うプロダクト

プロダクト 名称	説明	フォーマット	用途
L0 データ セット	曝露ペイロードで発生した観測データ (生データ) を格納したデータセット。曝露ペイロードから以下の 2 経路で取得する。 ・ダウンリンク ・ストレージ (HDD) 輸送	画像データ : CCSDS パケット テレメトリデータ : テレメトリに UDP データ (CCSDS ヘッダが付加されたデータ)	一時保管
L0B データ	L0 データセットに対しテレメトリ情報等の関連情報を加え、L1 プロダクト作成処理に必要な全ての情報を包括したデータ。	・イメージファイル ・ライン情報ファイル ・メタデータファイル ・撮像補助データファイル (VNIR のみ)	保管
L1A	L0B データに対して 30km (+バッファ) にシーンカットしたデータ。各種補正のための情報を付属。	TIFF 等	利用実証

プロダクト 名称	説明	フォーマット	用途
L1R	L1A に対して、放射量補正を施し、大気上端のラジアンズに変換したデータ。幾何投影によるリサンプリングを実施していない。	TIFF 等	利用実証
L1G	L1R に対して、幾何補正（投影）・オルソ補正（投影）を処理したデータ。	GeoTIFF 等	利用実証 一般公開
L2G	L1G に対して大気補正し、地表面反射率に変換したデータ。	GeoTIFF 等	利用実証 試験公開
L1A_Cal L1R_Cal	校正モードで取得したデータについて、波長域を統合して（L1A）、放射量補正（L1R）したプロダクト。	GeoTIFF 等	校正検証
L1A_HR L1R_HR L1G_HR	高波長分解モードで取得したデータについて、放射量補正（L1R）・幾何補正（L1G）したプロダクト。	GeoTIFF	校正検証 利用実証

イ ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサ用地上データ処理システムの改修・機能強化 （平成 27 年度～）

ISS に搭載したハイパースペクトルセンサの宇宙実証のため、これまでに開発してきた地上データ処理システム（以下、既存 GDS と称す）に対して、機能追加および改修を行なった。

a. 要求仕様の整理

外部条件や運用条件が衛星搭載前提から ISS 搭載に変更になった事による要求仕様の整理を行った。当該整理作業に基づき、システムの設計作業、改修内容の整理を行った。表 2-C-2 に設計後の地上データ処理システムの各サブシステムの機能分担を示す。

表 2-C-2 地上データ処理システムの各サブシステム

No.	地上システムの 構成要素	概要
1	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を編集し ISS 搭載用 GDS の各サブシステムに配信する。
2	コマンド作成管理 サブシステム	観測計画作成サブシステムが作成した観測計画を、曝露ペイロードの運用に必要なスケジュールコマンド群を格納したファイル（観測スケジュールファイル）へ変換する。作成したコマンドは、JAXA OCS のコマンド送出制御系に提供する。
3	ユーザインタフェース サブシステム	利用者からの観測要求受付、プロダクトの検索、プロダクト注文の受付、プロダクトの提供を行う。また、ユーザ情報管理を行う。
4	観測計画作成 サブシステム	観測要求に基づいて観測計画を作成し、観測計画をコマンド作成管理サブシステムへ送付する。また、観測要求、観測計画、観測実績の保存・管理、観測要求・実績の集計を行う。
5	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。
6	全体統合 サブシステム	ネットワーク集中管理・監視、計算機稼働状況管理・監視、オペレータ用操作・監視画面、システム全体の起動・停止、システムリソース管理を行う。

No.	地上システムの構成要素	概要
7	中速系データ受信・表示システム	中速データ伝送系でダウンリンクした観測データ、テレメトリデータの受信とテレメトリのモニタを行う。

b. 基本設計

ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサ用地上データ処理システム（以下、ISS 搭載用 GDS と称す）を開発するため既存 GDS の改修内容を検討し、追加する機能・改修内容に関する基本設計を実施した。基本設計審査会（事前説明会、本審査会：平成 29 年 3 月）を開催し、要求仕様を満たす事を確認して、次工程（詳細設計）に移行した。

c. 詳細設計

ISS 搭載用 GDS の詳細設計を実施した。詳細設計審査会（事前説明会、本審査会：平成 30 年 1 月）を開催し、要求仕様を満たす事を確認して、次工程（製造）に移行した。

② 機器実証部の開発

機器実証部は、(a)センサの健全性を確認する機能（機器モニタ機能）と、(b)センサ機器の観測精度を検証する機能（機器実証機能）、を有するシステムである。図 2-C-2 に機器実証部の位置付けを示す。

機器モニタ機能は、GDS から転送されるレベル 0B データのメタデータファイルに含まれるテレメトリデータ（軌道姿勢データ、HK データ、センサアンシラリデータ等）について、モニタ画面へ表示する機能を有している。また、テレメトリデータの保存・集計を行うとともに、グラフ表示と統計処理も行う。

機器実証機能は、機器の精度等の検証を行うための機能を提供する。使用するデータは GDS から渡されるレベル 0B データである。レベル 0B データ及び各種校正結果ファイルの管理・保存はサーバにて行い、機器実証端末に対して配信を行う。端末では受信したデータを用いた幾何精度検証・波長精度検証・放射量精度検証などの各種検証を COTS（ENVI）のカスタマイズ機能として提供し、検証結果ファイルをサーバに格納する。

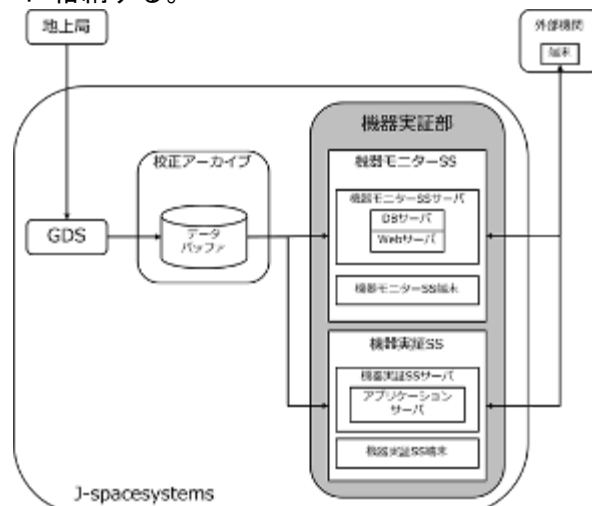


図 2-C-2 機器実証部の位置づけとシステム校正

平成 26 年度まで設計、製造作業を実施して来ており、平成 27～28 年度は維持設計を実施した。また平成 27 年度より ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサの宇宙実証用に改修・機能追加の検討を開始した。

ア 維持設計

既存 GDS 及び校正アーカイブシステムと機器実証部間のインタフェース確認書の調整を行うと共に、インタフェース試験を実施した。

イ ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサの宇宙実証に向けた仕様（改修、機能強化）の検討

曝露ペイロードと ISS 搭載用 GDS 間インタフェース調整に関して、機器実証部に関連するインタフェース部分の検討を行った。また機器実証機能を校正作業においても利用しかつ解析作業の一部自動化して校正レポートを作成するための検討を行った。

③ サポートセンサ処理システムの検討・製作

ハイパースペクトルセンサデータの画像処理には、データ取得期間にわたって精度の良い姿勢情報が必要である。その要求精度を満たすため、曝露ペイロードに搭載されるサポートセンサ（スタータッカ、GPS 受信機、ジャイロセンサ）データおよび ISS 軌道・姿勢データを用いた姿勢決定のアルゴリズムを検討しプログラムの製作を行った。

ア 姿勢決定アルゴリズムの検討

表 2-C-3、表 2-C-4 に示すサポートセンサ（STT、Gyro）を用いたノミナル姿勢決定アルゴリズムとサポートセンサが故障した時のバックアップ姿勢決定アルゴリズムを検討した。

表 2-C-3 姿勢決定方式 (1)ノミナル姿勢決定（●：姿勢決定に使用するデータ）

方式			方式の内容	STT	Gyro	ISS 姿勢
ノミナル 姿勢決定	STT 太陽非干渉時		STT、Gyro による姿勢決定	●	●	
	STT 太陽 干渉時	オプション 1	Gyro による姿勢伝播		●	
		オプション 2	Gyro と ISS 姿勢データを併用した姿勢決定		●	●

表 2-C-4 姿勢決定方式 (2)バックアップ姿勢決定（●：姿勢決定に使用するデータ）

方式			方式の内容	STT	Gyro	ISS 姿勢
バックアップ 姿勢決定	バックアップ姿勢決定 1 (Gyro 故障時)		STT データのみによる姿勢決定	●		
	バックアップ姿勢決定 2 (STT 故障、または干渉時)		ISS 補助データによる姿勢決定			●

イ サポートセンサデータ処理ソフトウェアの製作

上記アルゴリズムの検討に基き、ハイパースペクトルセンサの姿勢・軌道情報を算出し、ISS 搭載のハイパースペクトルセンサの Level-1 プロダクト（L1）生成ソフトウェアに入力する処理を担うソフトウェア（サポートセンサデータ処理ソフトウェア）の製作を行った。

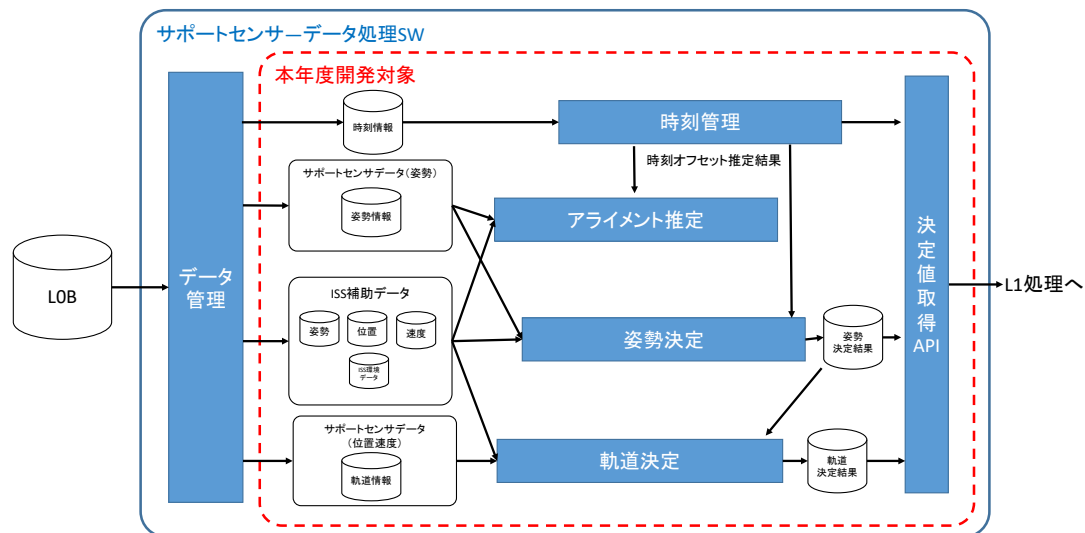


図 2-C-3 サポートセンサデータ処理ソフトウェア構成

(2) 事業アウトプット

A 事業アウトプット

事業アウトプット指標

以下に性能目標を示す世界最高レベルの高分解能ハイパースペクトルセンサを開発する。

(ア) ハイパースペクトルセンサ(軌道高度 410km 時)：空間分解能 20m×30m 以下、観測幅 20km、バンド数 185 以上、S/N 比 VNIR 450 以上、SWIR 300 以上

宇宙実証し、本事業終了時には、新型ハイパースペクトルセンサの実用化に向けた技術を確立する。

(イ) 当研究開発内容に係る論文ないしは学会における発表数を年間 2 件以上とする。

指標目標値(計画及び実績)

事業開始時(平成 19 年度)	計画： 高分解能ハイパースペクトルセンサの目標性能を設定する。	実績： 高分解能ハイパースペクトルセンサの目標性能を設定し、開発を開始した。
中間評価時(平成 30 年度)	計画： ① 上記性能目標を持つハイパースペクトルセンサを開発する。 ISS 搭載用ハイパースペクトルセンサ機能強化、曝露ペイロード開発および宇宙実証システム開発において設計を完了する。 ② H27～H29 年度の論文ないしは発表数 6 件以上	実績： ① (達成) 空間分解能 20m×30m 以下、観測幅 20km、バンド数 185 以上、S/N 比 VNIR 450 以上、SWIR 300 以上 各システムの設計および設計審査を完了し、製造を開始した。 ② (未達成) 論文ないし発表数：5 件
終了時評価時(平成 34 年度)	計画： ① 同上、 ISS 搭載用ハイパースペクトルセンサを搭載した曝露ペイロードを打ち上げ、JEM 曝露部に設置して、宇宙実証する。 ② 論文ないし発表数 30 件以上	実績：－

B 個別要素技術のアウトプット指標・目標値および達成状況

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）
① ハイパースペクトルセンサの開発、		
ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサ	目標性能を持つフライトモデルの製作および打ち上げ・宇宙実証	設計完了。
② 曝露ペイロードの開発		
曝露ペイロードシステム	開発および打ち上げ・宇宙実証	設計完了。製作開始
船内データ保存システム	開発および打ち上げ・宇宙実証	設計完了。 製作・単体試験ほぼ完了。
③ 宇宙実証システムの開発		
宇宙実証システム	目標性能を持つ宇宙実証システムの製作および運用（運用計画立案・データ取得・データ処理）	設計完了。製作開始

※ 補足： マルチスペクトルセンサについては開発が完了し、事業終了済。

C 共通指標実績

論文数	論文の被引用度数	特許等件数（出願を含む）	特許権の実施件数	ライセンス供与数	国際標準への寄与	プロトタイプの作成
38	—	2	—	—	—	—

なお、上記の中で平成 27 年度から平成 29 年度において、論文数は 5 件、特許等件数は 0 件。

表 論文等リスト

No	投稿先 等	題 目	時期
1	IEEE IGARSS2015	Current Status of Hyperspectral Imager Suite (HISUI)	2015 年 7 月 28 日
2	IEEE IGARSS2016	Current Status of Hyperspectral Imager Suite (HISUI) and Its Deployment plan on International Space Station	2016 年 7 月 11 日
3	IEEE IGARSS2017	Current Status of Hyperspectral Imager Suite (HISUI) onboard International Space Station	2017 年 7 月 24 日
4	SPIE Europe Remote Sensing 2016	Flight model performances of HISUI hyperspectral sensor onboard ISS (International Space Station)	2016 年 9 月 26 日
5	SPIE Europe Remote Sensing 2017	Flight model of HISUI hyperspectral sensor onboard ISS (International Space Station)	2017 年 9 月 12 日

3. 当省(国)が実施することの必要性

我が国石油資源の安定供給確保は喫緊の課題である。

こうした中、石油資源の遠隔探知を可能とする衛星データの活用により、例えば、諸外国の探鉱調査や有望地の絞り込みなどが可能となり、エネルギー安全保障の観点から、石油資源会社をはじめ近年では活用が進んでいる。

ハイパースペクトルセンサは従来のセンサ（ASTER）に比べスペクトル分解能が格段に高く、よりきめ細かく物質を推測・特定できる特徴を有することから、石油資源確保等への貢献が期待されている。

他方、本センサの開発には極めて高度な知見・専門性を要するものであり、世界各国でも開発競争が進められているがその専門性からいずれも発展途上段階。また、開発には多額の費用を要しかつ長期にわたる研究であるため民間企業にとって投資リスクも大きいことから、国主導で事業を実施する必要がある。

そのため、委託事業として実施する必要がある。

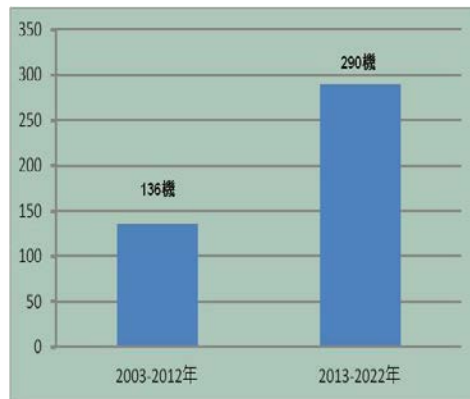
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

事業アウトカムとして、①センサそのものまたはセンサを搭載した衛星システム（地上局含む）を販売する事業、②衛星から得られる観測データや付加価値をつけた情報を販売する事業、の2種類の事業化を考えている。特にデータ提供に関しては、各種の条件が明確になっていないところもあり、事業化に関しては概略の市場規模や効果の予測と、この開発センサを用いたデータ提供事業を行う上で検討を要する条件を明確化し、事業化の構想を検討した。

（1）事業アウトカムの背景

①のセンサ販売事業については、内閣府資料（宇宙システム海外展開タスクフォースについて：平成27年9月）によれば、図4-1の通り、「現在、最大の商業市場は、通信・放送衛星。近年、地球観測衛星の需要が拡大。特に新興国市場は、今後10年で過去10年の4倍の需要が見込まれる中、政府が調達を担うため、官民一体となった取組が受注の鍵を握る。」とされている。

②のデータ提供事業については、同じく内閣府資料（我が国の衛星リモートセンシング関連産業のあり方の検討について：平成27年5月）によれば、図4-2の通り、「世界の衛星画像の売上は\$1.5B（2023年予測：\$3.6B）。世界の衛星画像売上：安全保障59%，その他（公共、民間）41%世界の衛星画像売上：光学84%（1m以下は62%），SAR16%。国内市場は約104億円（平成25年度）と推定される。」とのことであり、1mGSD以上の光学センサ（図の青色）の比率は22%、330億円（2013）。2023年には790億円と推定される。



出典: Euroconsult 2013 BROCHURE SATELLITE-BASED EARTH OBSERVATION Market Prospects to 2022 6th Edition

出典: Euroconsult 2013 BROCHURE SATELLITE - BASED EARTH OBSERVATION Market Prospects to 2023, 2014 Edition

図 4-1 地球観測衛星需要予測

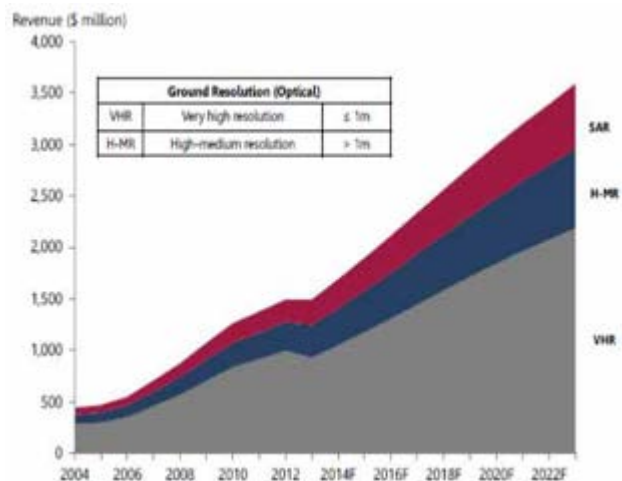


図 4-2 衛星画像売上予測

図 4-3 の総務省資料（4次元サイバーシティの活用に向けたタスクフォース最終報告書（案）：平成30年6月）では地球観測市場は、年平均11.4%の伸びを示している。これらはハイパースペクトルセンサだけのデータではないが、最も多くの波長情報を含むハイパースペクトルセンサデータが市場に投入されれば、大きく発展する可能性がある。

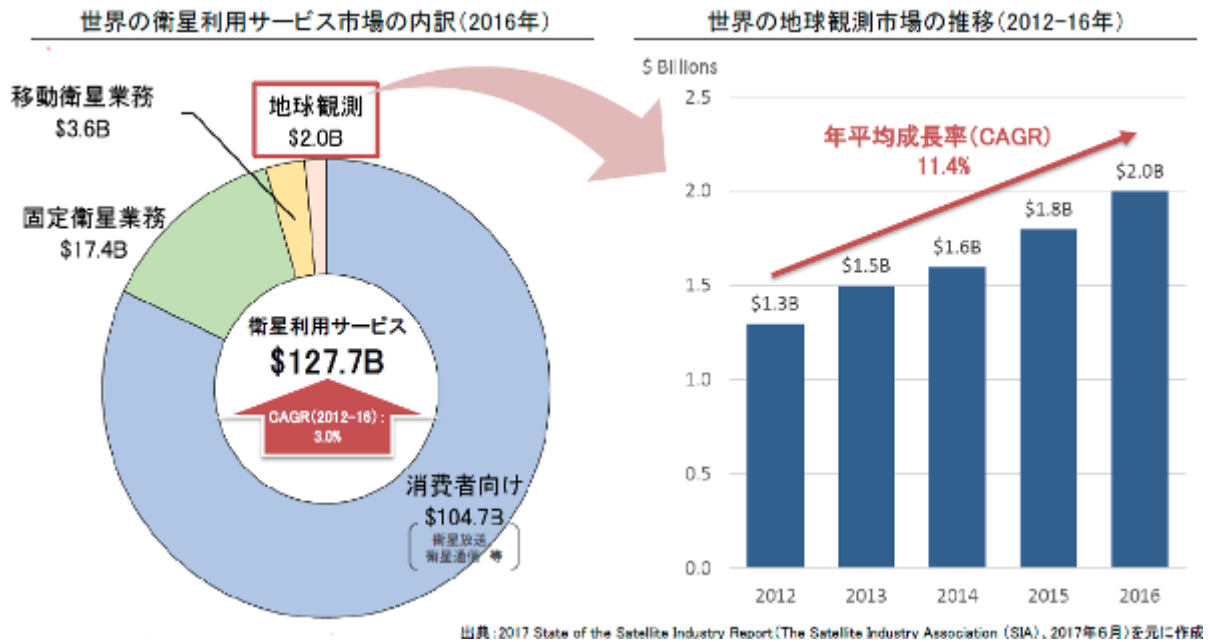


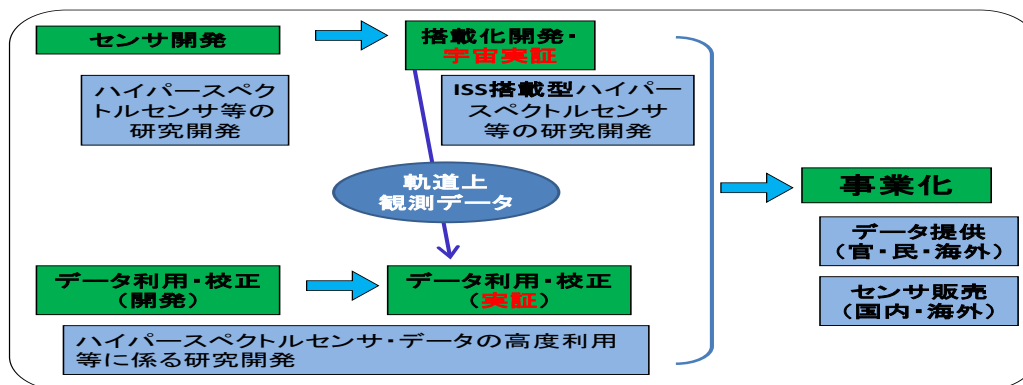
図 4-3 地球観測データ市場推移

(2) 事業アウトカム達成(事業化)までの流れ

A 実用化(宇宙実証)と事業化との関係

事業化を推進するためには、現在開発中のセンサによる実用化(宇宙実証)の成果が極めて重要である。センサについては実際に軌道上で機能・性能を達成し、実データが取得できることを実際に示すことが肝要である。データ提供については、軌道上からの観測データが実際に利用分野で活用できることを、実データでユーザに示すことが利用拡大につながる。この点で宇宙実証が事業化・販売促進のキープポイントと考えられる。

当研究開発の場合、「ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサ等の研究開発」事業により、平成 31 年度末頃に目標性能を満足するセンサが ISS に搭載され、平成 31~33 年度頃の軌道上実証により、実用化が確認される予定である。



4-4 宇宙実証と事業化

B 事業化構想

① センサ又はセンサを搭載した衛星システム(地上局含む)を販売する事業

開発中のハイパースペクトルセンサと同等のセンサやその発展型も含めて事業展開が考えられる。事業の形態としては、以下のケースが考えられる。

テナンス、校正データへの保証、地上局の構成と整備分担、データ提供の価格設定や販売ルート）これらの活動は、経産省事業として進めてきた「次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発（ハイパースペクトルセンサデータの高度利用等に係る研究開発）」との連携を図り実施されている。

ハイパースペクトルセンサへの潜在市場は大きく、データの継続が実現すれば、国際的な事業として発展する可能性がある。このため、データ利用ユーザを含めた業界コンソーシアム等の実現を目指し、官民の利用ユーザへのつながりのスキームを構築するよう努力する。衛星からの取得データの配信から、付加価値データの展開までを視野に入れて、専門企業等との連携を図りながら需要の拡大に努める。また、国際的な事業協力も含めた事業を目指して推進する。

C 事業アウトカム達成（事業化）に向けたロードマップ

事業化に向けたロードマップを図4-6に示す。

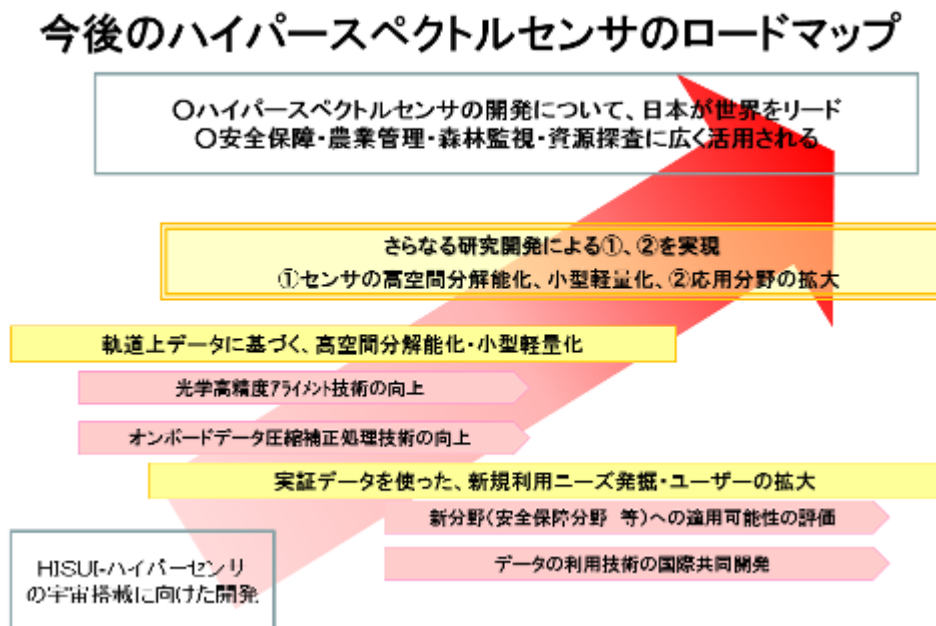


図4-6 ハイパースペクトルセンサの事業化に向けたロードマップ

（3）波及効果

ハイパースペクトルセンサデータには非常に多くの情報が含まれており、その潜在価値は非常に高いと言える。特に多数のスペクトルを有することから、土壌の質を見極めるために非常に有効であること、植生の種類や生育状態を見極めるためにも大きな効果を発揮できることが期待される。更に、水質等の汚染の状況の識別や陸域での土地利用の詳細な識別にも能力を発揮できる。このような、特徴から、食料、海洋資源、鉱物資源やエネルギー探査、環境監視等での情報提供による波及効果は計り知れなくなる。

更に、センサの特徴から、分解能等の向上が図られることによって、安全保障分野での利用にも大きな期待がかかっている。このように、数値的な換算が出来ない部分もあるが、データの情報化による波及効果の大きさは計り知れない。

この観点で、ハイパースペクトルセンサのデータ提供は将来の事業化としては大いに期待が持てる分野である。

センサ開発、センサ販売、データ提供事業の継続による事業の安定化、拡大により以下の波及効果を期待出来る。

A 研究体制への波及効果（人材育成、研究開発継続）

- ① 分光センサ技術者、画像データ処理技術者の育成、維持拡大が可能。衛星搭載センサ開発者の確保。
- ② 分光技術、素子技術、分光測定技術、画像分析技術等の継続開発による技術、ノウハウ蓄積

が可能。

B 技術的波及効果

- ① 分光、校正技術が蓄積される。
- ② データ利用業者は、分光センサデータ利用に際してデータベースが必須であり、ハイパープロジェクトによる大量の分光データ取得はこのデータベース蓄積に大きく貢献する。

C 経済的波及効果、社会的効果

① 資源探査能力の向上

化石燃料資源の大半を輸入に依存する我が国においてその安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。ハイパースペクトルセンサの取得データから得られる地表面情報は資源の有無、分布などに関し従来の ASTER などのセンサのデータより精度の高い情報を提供できるため新しい油田や鉱床の発見、鉱床探査の効率化が可能となるなどによる、資源の安定供給の確保、資源国への開発支援に多大な効果が期待できる。

仮に新規油田の発見・開発 が実現した場合、数兆円～数十兆円の効果が期待される。

② その他（環境監視・農林業等）

多数のスペクトルを有することから、土壌の質を見極め、植生の種類や生育状態を見極めるためにも大きな効果を発揮できる。更に、水質等の汚染状況の識別や陸域での土地利用の詳細な識別にも能力を発揮。このような特徴から、以下が期待できる。

- ・農産物の育成管理へ貢献が期待できる。国内農業生産額は約 8.5 兆円（平成 25 年度）であるが、この 0.1% が改善されれば、80 億円の効果が期待される。
- ・海洋資源、鉱物資源やエネルギー探査、森林、河川等の環境監視等での情報提供による波及効果は計り知れなくなる。更に、分解能等の向上を図ることで、安全保障分野での利用にも大きな期待が出来る。

図 4-7 に宇宙実証から事業化および波及効果に至るフローを示す。

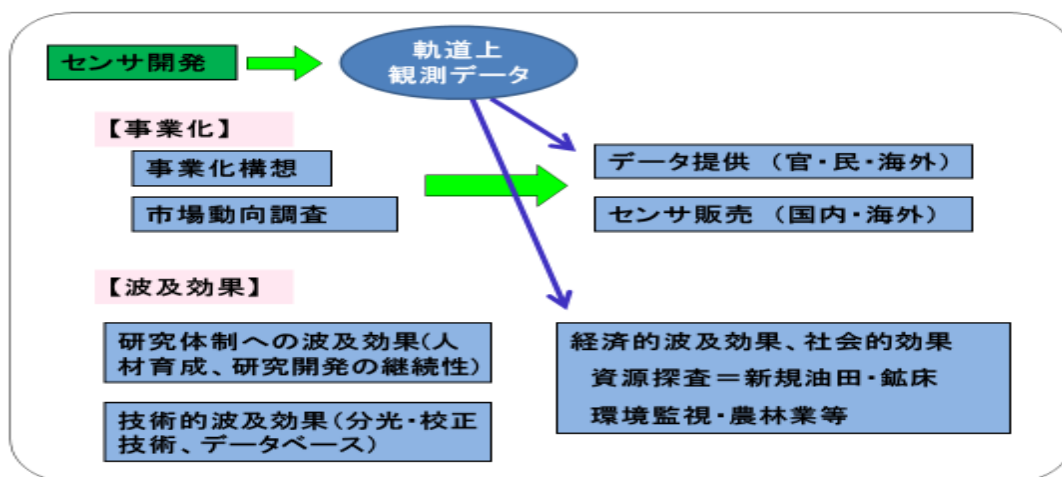


図 4-7 宇宙実証から事業化・波及効果に至るフロー

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) 研究開発計画の策定

A ハイパースペクトルセンサの研究開発

本研究開発では、平成 28 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。平成 27 年度からは ISS 搭載用に同センサを機能強化している。

図 5-1 に開発スケジュールを示す。

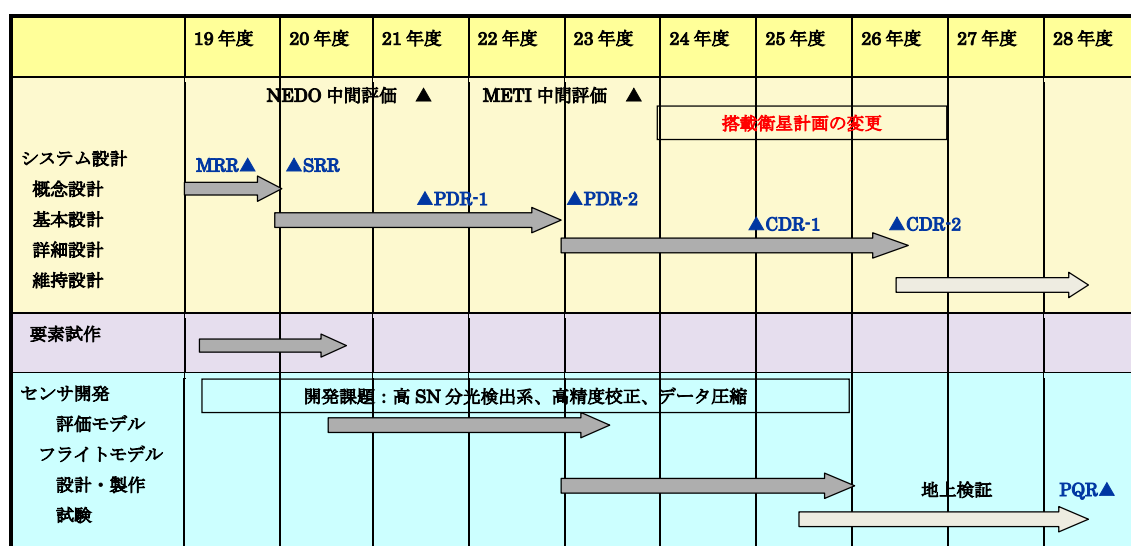


図 5-1 ハイパースペクトルセンサ等の研究開発
全体スケジュール（平成 19 年度～平成 28 年度）

注）MRR：ミッション要求審査、SRR：システム要求審査、PDR：基本設計審査、
CDR：詳細設計審査、PQR：品質確認試験後審査

内容は以下の通りである。

① 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、維持を行う。「②センサシステムの要素技術開発」及び「③評価モデルによる検証」は基本設計、詳細設計に反映される。

② 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、以下の項目の要素技術開発を行う。

- ・ 高 S/N 比を実現する分光検出系技術
- ・ 高精度校正系技術
- ・ 高速データ処理系、データ伝送系技術

③ 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、評価モデルによる検証を行う。評価モデルとしては以下の 2 種類を開発する。

- ・ 「熱構造モデル」：熱構造的な性能を確認するものとし、軌道上環境での熱環境や機械環境に対する耐性について試験により確認する。
- ・ 「機能評価モデル」：電氣的な性能を評価するものとし、分光検出系、信号処理部、校正系、伝送系の性能確認を行う。さらに、校正精度評価方法及び観測自動化技術の開発を行う。

④ フライトモデルの開発

「①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する。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する。

⑤ ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサの機能強化

上記のフライトモデルを ISS 搭載用に機能改修する。

B 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（「機構」と呼ぶ）が経済産業省からの委託を受けて平成 27 年度より実施している。平成 31 年度に SpaceX

社の Dragon 輸送機を用いた打上げを目途に、A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）を開発している。

C 宇宙実証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システムとして、観測データの観測計画作成、データの保存・処理・配付を行う地上データシステム（レベル0処理部を含む）及びセンサの健全性の確認を行う機器実証部の開発を実施している。

D ハイパースペクトルセンサの宇宙実証

ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサは平成31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、その機能・性能について宇宙実証される。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 5-2 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システムの研究開発および運用・宇宙実証の全体スケジュールを示す。

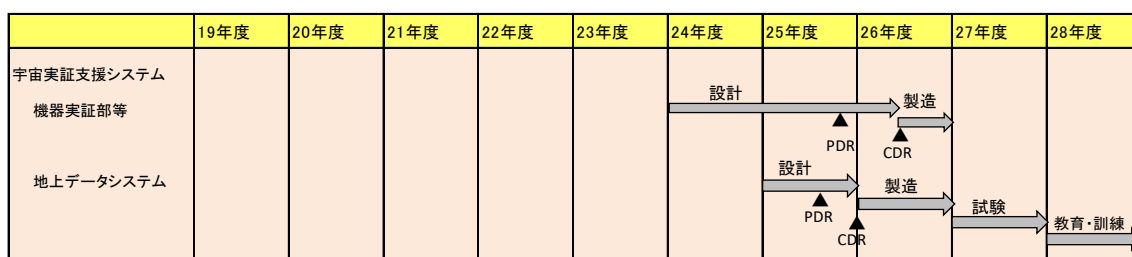


図 5-2 (1) 宇宙実証システムの研究開発スケジュール（平成 24～28 年度）

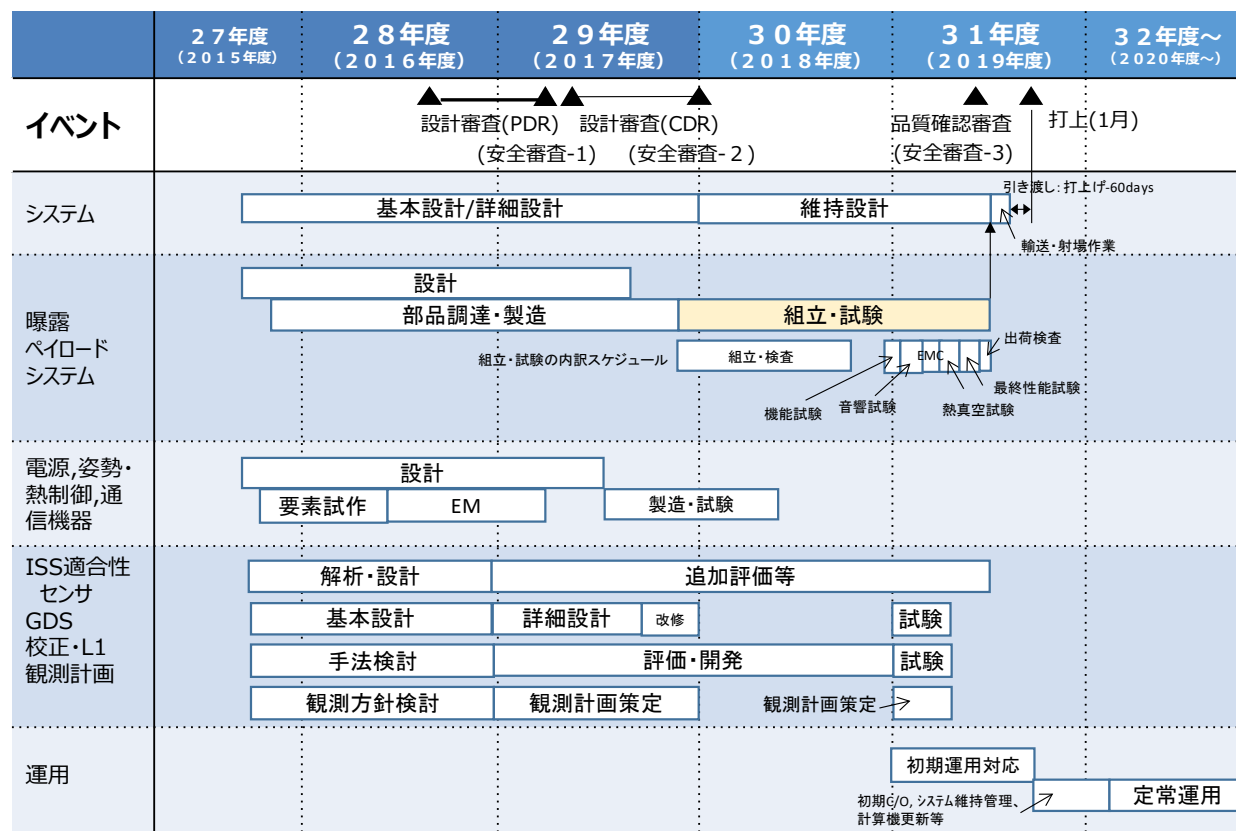
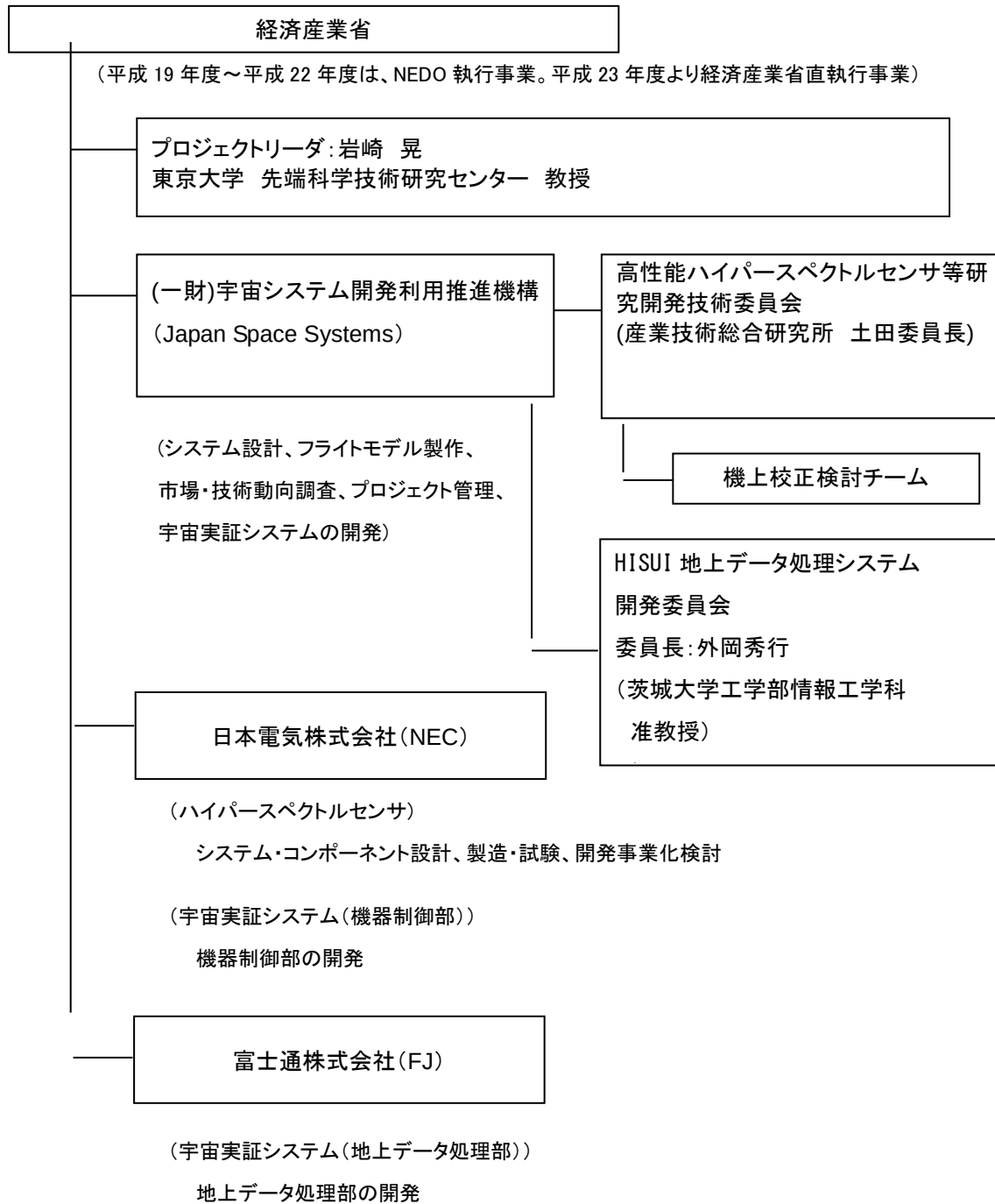


図 5-2 (2) ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサ、曝露ペイロードおよび宇宙実証システムの研究開発スケジュール（平成 27～33 年度）

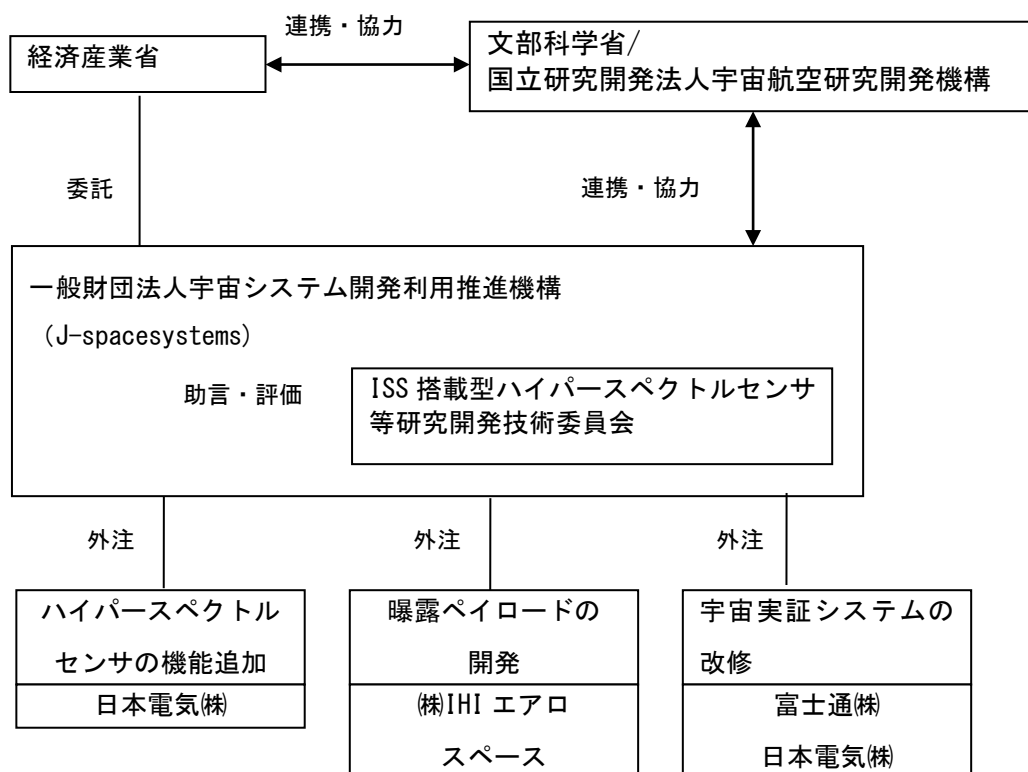
(2) 研究開発実施者の実施体制

A ハイパースペクトルセンサ等の研究開発（平成 19 年度 ～ 平成 28 年度）



B ハイパースペクトルセンサの研究開発（平成 27 年度～）

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。



（３）資金配分

A 資金配分

平成 27 年度から平成 29 年度までの資金配分実績は資金配分（実績）を表 5-1 に示す。図 5-1、5-2 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 5-1 資金年度配分（単位：百万円）

年 度	FYH27	FYH28	FYH29	合計
センサ フライトモデル	59	10	—	69
センサ ISS 搭載用機能強化	227	51	126	404
曝露ペイロード開発	403	897	890	2,190
宇宙実証システム開発	182	192	135	509
合 計	871	1,150	1,151	3,172

B 作業分担

① ハイパースペクトルセンサ等の研究開発

A 一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

- ・総合システム設計
- ・搭載衛星とのインタフェース調整
- ・評価方法検討および試験結果等の評価

- ・開発計画書・仕様書の維持改訂
- ・マルチスペクトルセンサ、ハイパースペクトルセンサのフライトモデルの開発
- ・宇宙実証システムの開発
- ・全体プロジェクト管理、委員会事務局運営 等
- イ 日本電気株式会社
 - ・ハイパースペクトルセンサシステムのシステム・コンポーネントの設計：仕様および各要素技術の技術的実現性の確認
 - ・要素技術の開発・評価
 - ・評価モデルの開発
 - ・試験計画立案、試験、評価データの分析、評価方法検討
 - ・センサ事業化の検討
 - ・宇宙実証システム（機器制御部）の開発
- ウ 富士通株式会社
 - ・宇宙実証システム（地上データ処理部）の開発・要素技術の開発・評価

② ハイパースペクトルセンサの研究開発

- ア 一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構
 - ・総合システム設計
 - ・ISS/JEM/輸送機とのインタフェース調整
 - ・評価方法検討および試験結果等の評価
 - ・開発計画書・仕様書の維持改訂
 - ・ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサのフライトモデルの開発
 - ・ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサ用宇宙実証システムの改修
 - ・全体プロジェクト管理、委員会事務局運営 等
- イ 日本電気株式会社
 - ・ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサシステムの機能強化のための設計：仕様および各要素技術の技術的実現性の確認
 - ・要素技術の開発・評価
 - ・評価モデルの開発
 - ・試験計画立案、試験、評価データの分析、評価方法検討
 - ・センサ事業化の検討
 - ・ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサシステム用宇宙実証システム（機器制御部）の改修
- ウ 株式会社 IHI エアロスペース
 - ・ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサシステム用曝露ペイロードの開発：仕様および各要素技術の技術的実現性の確認
 - ・要素技術の開発・評価
 - ・評価モデルの開発
 - ・試験計画立案、試験、評価データの分析、評価方法検討
- エ 富士通株式会社
 - ・ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサシステム用宇宙実証システム（地上データ処理部）の改修
- オ 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)
 - ・ISS/JEM/輸送機とのインタフェース調整
- カ その他
 - ・姿勢情報処理ソフトウェアの開発（有限会社コスモロジック、三菱スペース・ソフトウェア株式会社）
 - ・ヒータ電力制御機器（S-box）開発（株式会社 IHI 検査計測）
 - ・宇宙実証システム（H/W）保守（日本コムシス株式会社）

6. 費用対効果

(1) 事業化の計画

4 項にて、種々の形態でのセンサ販売に関する事業化の可能性を概観したが、今後これらの実現に向けて各方面への提案活動や、連携を働きかけていくことが必須となる。特に、国内の官のプログラムでの計画、データ利用事業の立ち上げによるセンサへの需要、官民連携による海外への売り込み等について、現在開発中のセンサによる拡張活動を今後更に活発化して事業化の可能性を高めることが重要である。現在開発中のセンサのデータが各種ユーザに展開された後、その後継機の実現や更に高性能化したセンサへのニーズが出てくることが期待される。

センサ及び関連システムでの事業規模を非常に概略で以下に推定する。

これまでの官のプロジェクトの場合には、性能の向上を図ることを目的に、開発要素を多く要する開発であったため、開発費用は比較的大規模になる。宇宙基本計画実現により、データ利用重視の方針が打ち出されており、繰り返しの観測継続が求められる場合には、現在開発中のセンサを継続して製造することとなる。また、民間や海外への販売を想定する場合には、小型衛星に搭載して地上システムまで含めた全体システムの提供を想定することになる。

現在開発中のハイパースペクトルセンサ打上後の 3 年間程度で、データ利用が進むと国内外で衛星や地上系の継続に期待がかけられると考えられる。この期間にハイパー関連のプログラムが国内外需要によって 2~3 システム立ち上がるとすると、数 100 億円程度の事業規模となると推定される。

(2) 事業化の規模

ハイパースペクトルセンサから得られる情報の種類及び量は従来のマルチスペクトルセンサの場合よりもはるかに広く多くの利用への潜在的な可能性があることを考慮して、現状での世界的なデータ利用のビジネス規模から、本センサによる観測データ利用が始まった場合の市場の規模や波及効果の規模の推定を行った。

4 (1) 項 事業の背景 で記述したように、「世界の衛星画像の売上は\$1.5B (2023 年予測 : \$3.6B)。世界の衛星画像売上: 安全保障 59%, その他(公共、民間) 41% 世界の衛星画像売上: 光学 84% (1m 以下は 62%), SAR 16%。国内市場は c c 約 104 億円 (平成 25 年度) と推定される。」とのことであり、1mGSD 以上の光学センサ (図の青色) の比率は 22%、330 億円 (2013)。2023 年には 790 億円と推定される。図 4-3 の内閣府資料 (4 次元サイバーシティの活用に向けたタスクフォース最終報告書 (案) : 平成 30 年 6 月) では地球観測市場は、年平均 11.4% の伸びを示している。

当然のことながら、これはハイパーだけのデータではないが、データとして最も多くの情報を含むデータであることから、ハイパースペクトルセンサでの市場は非常に期待できる可能性がある。一方、日本でのデータ利用事業に関しては、衛星データ全体で現状約 100 億円程度の規模の事業になっている。今後ハイパースペクトルセンサの打上に伴い、データ利用の分野が増えることが期待されることから、国内における市場規模も、海外と同様に大幅に伸びてくることが期待される。

Ⅱ. 外部有識者（評価検討会等）の評価

1. 総合評価

地球からの観測技術の活用が広がる中、ハイパースペクトルセンサへの期待は高い。世界的な競争力確保の観点からも早期の軌道上実証が必要であり、ASTERの後継機として、ISS搭載用ハイパースペクトルセンサの開発を着実に進め、搭載機器開発を実現した点は非常に高く評価できる。性能は全ての設定した目標値を満たしており、着実に実施されていることが伺える。

また、資源探査のみならず本センサが環境観測、災害監視等の社会保障に資することは明確であり、国の事業として実施することが妥当である。

一方で、開発に集中した事情は理解できるが、論文成果が目標を下回り、また国際会議発表論文に留まっている点は問題と言える。

事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの時間軸が記載されていないが、これまでの研究開発成果を商用化に向けた活用をする方向で良いと考える。ハイパースペクトルセンサ（HISUI）の研究開発でセンサの技術開発が行われたので、これを元に2つの方向で進められるのがよい。一つは、データ利活用の推進であり、これは現在進められている方向であると考え。もう一つは小型・低コスト化することで超小型コンステレーションに可能なセンサとし、より早く実証・実用・高性能化を繰り返すことである。これも小型ロケット開発で進められているアプローチであり、今後それを衛星側でも進めていくことが日本の強みにすることにつながると考える。

【肯定的所見】

- ・（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ついては、所定の要件項目を満たしており、かつ、アウトカムの背景、事業化構想を踏まえたハイパースペクトルセンサの総合システムが示されている。一つの範例モデルとなる。
- ・（B委員）ASTERの後継発展として、ISS搭載ハイパースペクトルセンサ開発を着実に進め、搭載機器開発を実現した点は非常に高く評価できる。ASTERの成果を踏まえつつ、石油資源の遠隔探知をはじめとするデータ利用に関する事業化に向けた研究も着実に進められており、この点も評価できる。
- ・（C委員）地球からの観測技術の活用が広がる中、ハイパースペクトルセンサへの期待は高い。世界的な競争力確保の観点からも早期の軌道上実証が必要であり、ISS搭載というかたちで実証機会を得て、その実現にむけて研究開発を確実にすすめていることは高く評価できる。
特に新しいセンサの実現には、時間と費用がかかる場合も多く、国の研究費として開発を進めることは妥当である。
- ・（D委員）アウトプットの目標が順調に達成されている。事業化構想がよく練られている。
- ・（E委員）ASTERの後継というべきセンサの開発であり、必要不可欠な研究開発である。性能の全て設定目標値をクリアしており、着実に実施されている事が伺える。また、資源探査のみならず本センサが環境観測、災害監視等の社会保障に資することは明確であり、国の事業として実施する事が妥当である。このまま実用化に向けてこのまま進めて頂きたい。
論文・成果発表件数の設定が6件以上とされているところを、5件で未達と自己評価をされているが、基本的には1,2本の差は誤差範囲であると認識している。今後も引き続き継続的に成果報告にも努めて頂きたい。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A委員）しかし、やや大風呂敷を広げているのではと懸念する内容も散在する。これらの点については、概数的推測値を示すにとどまらず、ロードマップの経路選択肢に関わるSWOT分析などを踏まえた構想を示すことが望ましかった。
- ・（B委員）開発に集中した事情は理解できるが、論文成果が目標を下回り、また国際会議発表論文にとどまっている点は問題といえる。最先端のセンサ開発に伴う技術的改善・ノウハウ等について方法論として効果的に抽出し、研究論文・特許等に積極的にまとめることが期待される。
- ・（C委員）アウトカムに向けたロードマップは、基本的に問題がないと考える。特に、これまでの研究開発成果を商用化に向けた活用をする方向で良いと考える。HISUIの研究開発でセンサの技術開発が行われたので、これを元に2つの方向で進められるのがよい。一つは、データ利活用の推進であり、これは現在進められている方向であると考え。もう一つは小型・低コスト化することで超小型コンステレーションに可能なセンサとし、より早く実証・実用・高性能化を繰り返

すことである。これも小型ロケット開発で進められているアプローチであり、今後それを衛星側でも進めていくことが日本の強みにすることにつながると考える。

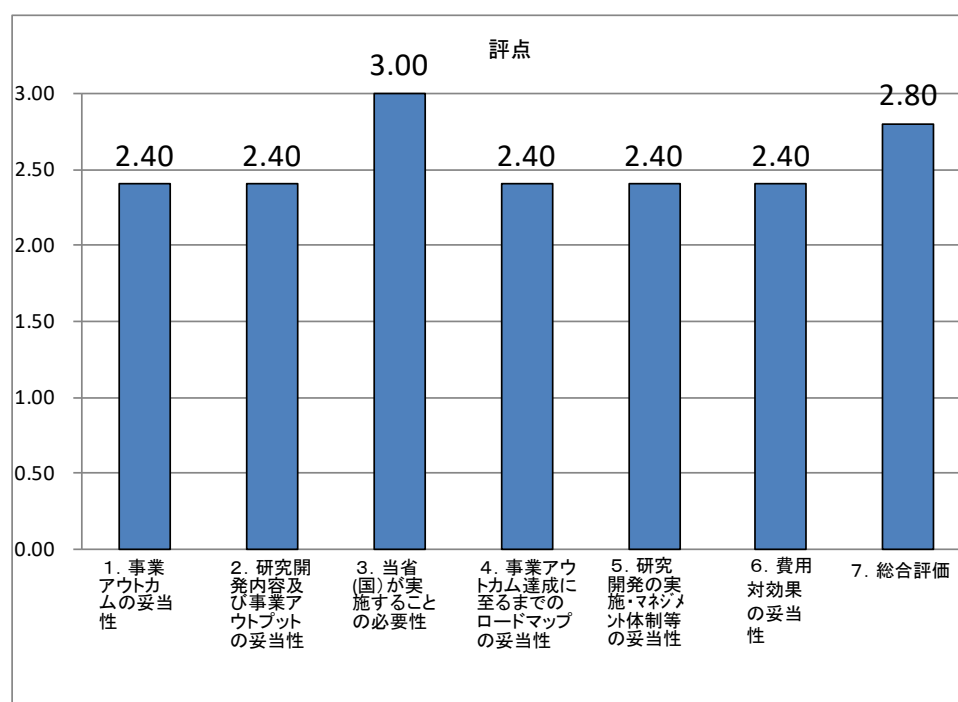
- ・(D委員) 小さな点であるが、資料 6-4 の「5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ」で時間軸が記載されていない。
- ・(E委員) 論文数や発表数を数値示すことは必要であるが、論文は特に査読プロセスもある為、掲載まで時間を有する。また、開発状況にかんがみリソース配分上、成果報告が遅れる事も十分に考えられるため、少し幅を持たせた数値目標を検討頂きたい。

Ⅲ. 評点法による評価結果

評点法による評点結果

(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))

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.40	2	3	2	2	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.40	3	3	2	2	2
3. 当省(国)が実施することの必要性	3.00	3	3	3	3	3
4. 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	2.40	3	3	1	2	3
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.40	2	3	2	3	2
6. 費用対効果の妥当性	2.40	3	3	1	2	3
7. 総合評価	2.80	3	3	2	3	3



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～ 6.

- 3点：非常に重要又は非常に良い
- 2点：重要又は良い
- 1点：概ね妥当
- 0点：妥当でない

評価項目 7. 総合評価

(中間評価の場合)

- 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. 超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発（終了時評価）

I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

プロジェクト名	超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発			
行政事業レビューとの関係	平成 29 年度行政事業レビューシート（事業番号 0037）			
上位施策名	・「新成長戦略」（平成 22 年 6 月 18 日閣議決定） ・「産業構造ビジョン 2010」（平成 22 年 6 月 3 日産業構造審議会産業競争力部会報告書） ・宇宙基本計画（平成 28 年 4 月 1 日閣議決定） ・科学技術イノベーション総合戦略 2016（平成 28 年 5 月 24 日閣議決定）			
担当課室	経済産業省製造産業局宇宙産業室			

プロジェクトの目的・概要

本プロジェクトは、国際競争力の強化のため、高機能、低コスト、短納期な、小型化等による先進的宇宙システムの開発技術を継続活用することを目的とする。主な課題：①国際競争力ある高分解能レーダセンサの開発②高電力・高出力のレーダに対応する小型衛星バスの開発（ASNARO バスの後継）③高分解能レーダセンサに搭載する高出力増幅器の開発 ④宇宙実証を行う。

予算額等（補助（補助率：10/10、2/3）

(単位：百万円)

開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成 23 年度	平成 29 年度	平成 27 年度	平成 30 年度	NEC
H27FY 執行額	H28FY 執行額	H29FY 執行額	総執行額	総予算額
4,320	500	2,470	19,884	20,400

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
①高性能小型衛星（レーダ衛星）の研究開発 ・小型の光学衛星と合成開口レーダ衛星を組み合わせることにより、高頻度の地球観測システムを構築することが可能 ・衛星搭載用として我が国初のXバンド合成開口レーダ ・低コストで世界最先端クラスの分解能 ②我が国宇宙産業の国際競争力の強化 ・国際衛星市場への参入 国際産業協力、ODA 案件形成 ・政府衛星の計画的・効率的な発・調達 科学衛星等への活用 先端民生技術・部品の実証機会の提供 ・新たな衛星システム運用への展開 複数機運用による広域観測や高頻度観測		
指標目標値		
事業開始時	計画：衛星システム受注数	実績：－
中間評価時	計画：衛星システム受注数	実績：－
終了時評価時	計画：平成 29 年度中までに宇宙システムを 1 件受注する。	実績：現在、海外案件受注に向けて有望案件の発掘、交渉を進めているところ。
目標最終年度	計画：平成 35 年度中までに宇宙システムを 3 件受注する。	

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

(1) 研究開発内容

本プロジェクトは、国際競争力の強化のため、我が国の強みである民生部品及び民生技術等を適用した高機能、低コスト、短納期な、小型化等による先進的宇宙システムの開発技術確立することを目的とした ASNARO : <Advanced Satellite with New System ARchitecture for Observation> で宇宙実証された衛星バスの後継機を用いる。また、搭載ミッションは、分解能 1m 以下（軌道高度 505km、スポットライト）を目標とする超分解能合成開口レーダ（SAR センサ）の開発を行う。これにより、諸外国の最先端技術に比肩する、バス質量 350kg 程度以下の小型地球観測衛星の開発技術を獲得する。

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値（計画）	達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
超高分解能レーダセンサ（SAR） （設定理由） 諸外国の中型大型の X バンドの合成開口レーダ衛星に比肩する性能をもつことで、国際競争力を確保する必要がある。	（事業開始時） 分解能 1m 未満を目標とする X バンド小型 SAR 衛星仕様を設定する。	達成 分解能 1m 未満（軌道高度 505km）となる X バンド小型 SAR 衛星仕様書の策定を完了させた。	—
	（中間評価時） 分解能 1m 未満を目標とする X バンドの合成開口レーダの設計を完了する。	達成 要求仕様を満足する、分解能 1m 未満となる X バンド合成開口レーダの設計を完了させた。	—
	（事業終了時） 分解能 1m 未満を目標とする我が国初の X バンドの合成開口レーダを開発する。	達成 軌道上で要求仕様を満足することを確認した。	—
小型衛星バス （設定理由） 高電力小型衛星バスとして SAR ミッション機器に対応しやすい規模（適切な電力と姿勢制御可能）として 350kg のバス質量を設定した。	（事業開始時） バス質量 350kg 程度以下の高電力対応の小型地球観測衛星の仕様を設定する。	達成 バス質量 350kg 程度以下のあり高電力対応の小型地球観測衛星仕様書策定を完了させた。	—
	（中間評価時） バス質量 350kg 程度以下の高電力対応の小型地球観測衛星の設計を完了する。	達成 バス質量 350kg 程度以下の高電力対応の小型地球観測衛星の設計を完了させた。	—
	（事業終了時） バス質量 350kg 程度以下の高電力対応の小型地球観測衛星を開発する。	達成 要求質量を満足した高性能小型の高電力対応衛星を開発した。	—
パルス TWT A （設定理由）	（事業開始時） SAR センサに搭載する高出力増幅器の仕	達成 小型衛星 SAR センサ搭載用高出力増	—

消費電力を削減する目的として小型衛星搭載用の高出力増幅器の開発する必要がある。	様を設定する。	増幅器の仕様書策定を完了させた。	
	(中間評価時) SAR センサに搭載する高出力増幅器の設計を完了する。	達成 要求仕様を満足する SAR センサ搭載用高出力増幅器の設計を完了させた。	—
	(事業終了時) SAR センサに搭載する高出力増幅器を開発する。	達成 高性能小型 SAR 衛星に必須となる TWTA5 台開発した。	—
短納期の仕組み (設定理由) 製造試験期間を 2 年間に短縮することで、国際競争力を確保する必要がある。	(事業開始時) 短納期を実現する製造試験期間の目標値を設定する。	達成 短納期を実現する製造期間の目標値を設定した。	—
	(中間評価時) 衛星システムの全製造試験期間 (2 年) のうち前半に相当する、「バス機器の製造着手から機器試験完了まで」、1 年間で実現する。	達成 標準ネットワーク方式採用により、変更対応力を強化し、バス機器製造着手から機器試験完了までを 1 年間で実現した。	—
	(事業終了時) 2 年間で製造試験を実現する仕組みを構築する。 【製造試験期間=システム製造着手～衛星システム試験完了迄】	達成 試験の自動化、システムの製造・組立から衛星システム試験完了までを 2 年で実現する仕組みを構築した。	—
国内ロケットへの適合 (設定理由) 小型衛星の打上げ手段として確保する。	(事業開始時) 国内ロケットに適合する衛星仕様を設定する。	達成 国内打上げ機に対するインターフェース仕様の策定を完了させた。	—
	(中間評価時) イプシロンロケットへの適合性確認を完了する。	達成 イプシロンロケットとの適合性満足することを確認した。	—
	(事業終了時) 我が国の打上げロケットを活用し、宇宙産業の国際競争力を強化する。	達成 イプシロンロケット 3 号機及び JAXA 内之浦射場設備への適合性を確認した。2018/1/18 に予定軌道への投入に成功した。	—

宇宙実証 （設定理由） 小型衛星の軌道上実証を通して、軌道上運用の仕組み、やり方を確保する。	（事業開始時） 運用仕様を設定する。	達成 運用仕様書の策定を完了させた。	—
	（中間評価時） 運用準備を完了する。	達成 運用環境および運用手順の整備を完了させた。	—
	（事業終了時） 軌道上実証を実現する。	達成 打上後 3.5 ヶ月の初期チェックアウトにおいて、要求される衛星機能が実現され、性能が満足することを確認した。	—

<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 （出願を含む）	特許権の 実施件数	ライセンス 供与数	国際標準への 寄与	プロトタイプ の作成
5	—	1	—	—	—	—

なお、上記の中で平成 27 年度から平成 29 年度においては、論文数 2 件、特許等件数（出願を含む）1 件。

3. 当省(国)が実施することの必要性

以下により経産省が主体的に実施する必要性がある。

- ・ 従来、地球観測衛星は安全保障目的の情報収集衛星や JAXA が有する研究開発衛星が存在していたが、その後、世界的に民生用途における衛星画像を利用したビジネスが世界的に拡大。
- ・ 他方、我が国では民間ベースでの地球観測衛星を活用したビジネス体質が構築されておらず、競争力の観点で課題が存在した。

そのため、我が国宇宙産業の国際競争力強化の観点から、小型かつ高性能、低コスト、短納期といった特徴を有する地球観測衛星の開発を通じて、①新興国等への衛星製造から打上げ、人材育成までをパッケージにした海外輸出、②衛星画像の利用促進による衛星運用事業者・画像販売ビジネス事業者の育成を図るため、産業振興を所管する当省が主導して支援を実施。

4. 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を実現するため、小型観測衛星事業の今後 10 年間の事業ビジョン・戦略を以下のように定め、事業を推進する計画である。

- ・ 国内外民間・政府の画像データ利用ニーズの高まりを受け、ASNARO-2 画像データの販売を展開
- ・ 新興国を中心とする海外顧客の需要を軸に、ASNARO-2 衛星のパッケージ販売を推進
- ・ 並行してその次の 5 年間に向けた、今後予想される市場・業界の変化（リアルタイム性・付加価値の追求）に対応するための検討を進める。

H30年度～H34年度(次の5年間)

ASNARO-2画像データ販売事業の展開



ASNARO-2を軸とする小型衛星パッケージの海外展開

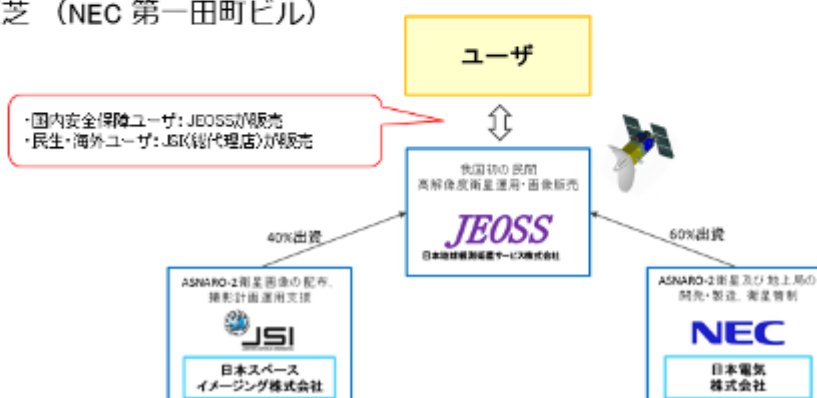
H35年度～H39年度(その次の5年間)

安全保障市場・民生市場の「リアルタイム性」「付加価値サービス」ニーズの高まりへの対応を進める。

ASNARO-2画像データの販売事業の展開

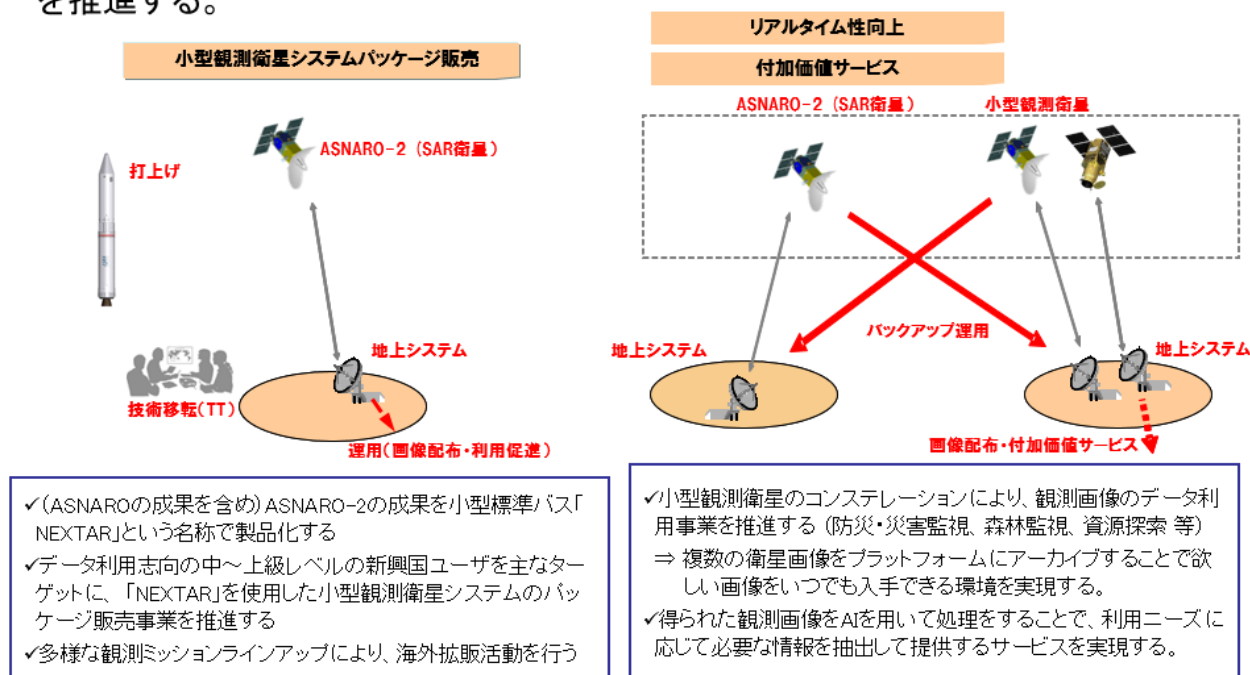
ASNARO-2の画像販売を行う事業会社を設立。今年9月より販売を開始。

- 会社名： 日本地球観測衛星サービス(株)
(英語名称 Japan EO-Satellite Service, Ltd., 略称 JEOSS)
- 設立： 平成 27年 4月 1日
- 代表取締役： 堀内 康男 (NEC 宇宙・防衛営業本部)
- 株主資本： 40 百万円
- 主要株主： 日本電気(株) (70%), 日本スペースイメージング(株) (30%)
- 本社所在地： 東京都港区芝 (NEC 第一田町ビル)



小型衛星パッケージの海外展開とリアルタイム性向上・付加価値サービス

民間が主体となった国産リモートセンシング衛星のシステムパッケージ販売を促進し、国内および新興国を中心とした海外市場における観測画像の利用事業を推進する。



H29年度				H30年度				H31年度		H32年度		H33年度		H34年度		H35年度以降							
1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1H	2H	1H	2H	1H	2H	1H	2H	35	36	37	38				
ASNARO-2																							
ASNARO-2開発				初期校正運用				定常運用										後期運用					
								運用															
衛星運用・画像利用事業(JEOSS)				ASNARO-2画像販売																			
				新興国向け衛星開発																			
小型衛星パッケージ販売														新興国向け後継機開発									
				リアルタイム性																			
リアルタイム性・付加価値サービス				事業化検討																事業化			
				付加価値サービス																事業化			
				事業化検討・サービス開発																事業化			

また、ASNARO-2 衛星と近年の海外衛星実績や国内衛星と比較した結果を以下、表 4-1 及び表 4-2 に示す。

(1) 周波数

近年(2000 年代後半)の SAR 衛星の実績として、カナダの RADARSAT2 (C バンド)、日本の ALOS シリーズ(L バンド)を除き、周波数帯はすべて X バンドである。これは L バンド、C バンドに比べ、X バンドで高分解能と小型化を実現できることが背景にある。

(2) 分解能

分解能については、SAR-Lupe が 1m 未満であり、その他の X バンド衛星は最高で公称 1m である。また、国内実績としては ALOS の分解能が 10m、ALOS-2 でも 1~3m (進行方向が 1m、距離方向は 3m) である。したがって、超高分解能合成開口レーダでは、仕様である X バンドで 1m は ALOS-2 を上回り、海外の衛星と比較すると互角以上の性能で、国際的にも競争力のある衛星である。

(3) 衛星質量

衛星質量の点では、軍用の SAR-Lupe と TecSAR は軽量のパラボラアンテナを搭載した数百 kg 級の小型衛星、商用の衛星は 1~2 トン級の中型衛星である。国内の ALOS については、合成開口レーダ以外のセンサを含めて約 4 トンの大型衛星、開発中の ALOS-2 は約 2 トンの中型衛星である。なお、SAR-Lupe については、小型衛星ではあるが、3mφ の固定アンテナを搭載しているため、打ち上げ時寸法は大きく、通常のフェアリングではなく、アンテナを搭載可能な特殊フェアリングを使用している。ASNARO-2 は他の衛星に比較し小型・軽量であり、大きさという点でも高い競争力を保有している。

表 4-1. 近年の海外衛星実績との比較

項目	開発目標	近年の海外実績					
衛星名	ASNARO-2	SAR-Lupe	TecSAR	COSMO-SkyMed	TerraSAR-X TanDEM-X	RADARSAT2	KOMPSAT-5
打ち上げ年	2017 年	2006~2008 年	2008 年	2007~2010 年	2007、2010 年	2007 年	2013 年
開発国・機関	日本 (METI)	ドイツ (軍)	イスラエル (軍)	イタリア (軍、ASI)	ドイツ (DLR, Astrium)	カナダ (CSA)	韓国 (KARI)
ミッション目的	研究	軍用	軍用	軍用 / 商用	研究/商用	商用	
機数	1 機	5 機	1 機	4 機	2 機	1 機	1 機
軌道	約 500km (6:00)	約 500km 3 軌道面	550km	620km (6:00)	515km (18:00)	798km (18:00)	550km
設計寿命	5 年	10 年		5 年	5 年	7 年	5 年
衛星質量	500kg 級	770kg	300kg	1,700kg	1,230 kg	2,280 kg	1,400kg
周波数帯域幅	240MHz		> 200MHz	400MHz	300MHz (実験)	100MHz	
偏波	2 偏波		1 偏波	1、2 偏波	1、2 偏波	1, 2, 4 偏波	1 偏波(?)
観測モード	Spotlight Stripmap ScanSAR	Spotlight Stripmap	Spotlight Stripmap ScanSAR	Spotlight Stripmap ScanSAR	Spotlight Stripmap ScanSAR	Spotlight Stripmap ScanSAR	Spotlight Stripmap ScanSAR
分解能(*)	1m	<1m	1m	1m	1m (実験)	3m×1m	1m
観測幅(*)	10km×10km	5km×5km	5km×5km	10km×10km	5km×10km	20km	5km
アンテナ方式	パラボラ	パラボラ	パラボラ	フェーズド アレイ	フェーズド アレイ	フェーズド アレイ	フェーズド アレイ

(*)最高分解能モードでの値

表 4-2. 国内衛星との比較

項目	開発目標	国内衛星	国内衛星	国内衛星
衛星名	ASNARO-2	JERS-1 SAR	ALOS (PALSAR)	ALOS-2
打ち上げ年	2017 年	1992 年	2006 年	2014 年
開発国・機関	日本 (METI)	日本 (JAXA/JAROS)	日本 (JAXA/JAROS)	日本 (JAXA)
ミッション目的	研究	研究/民生用	研究/民生用	研究/民生用
機数	1 機	1 機	1 機	1 機
軌道	約 500km (6:00)	570km (10:30~11:00)	692km (10:30)	628km (12:00)
設計寿命	5 年	2 年 (計画)	3 年以上	5 年以上

		/6.5年(実績)	5年目標	7年目標
衛星質量	500kg 級	1340kg	4,000kg	約 2000kg
周波数帯域	X バンド	L バンド	L バンド	L バンド
偏波	2 偏波	1 偏波	1、2、4 偏波	1、2、4 偏波
観測モード	Spotlight Stripmap ScanSAR	Stripmap	Stripmap ScanSAR	Spotlight Stripmap ScanSAR
分解能(*)	1m	18m	10m	1～3m
観測幅(*)	10km×10km	75km	70km	25km×25km
アンテナ方式	パラボラ	集中給電の 平面アンテナ	フェーズド アレイ	フェーズド アレイ

(*)最高分解能モードでの値

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) 研究開発実施体制

以下、図 5-2-A-1 に研究開発実施体制を示す。

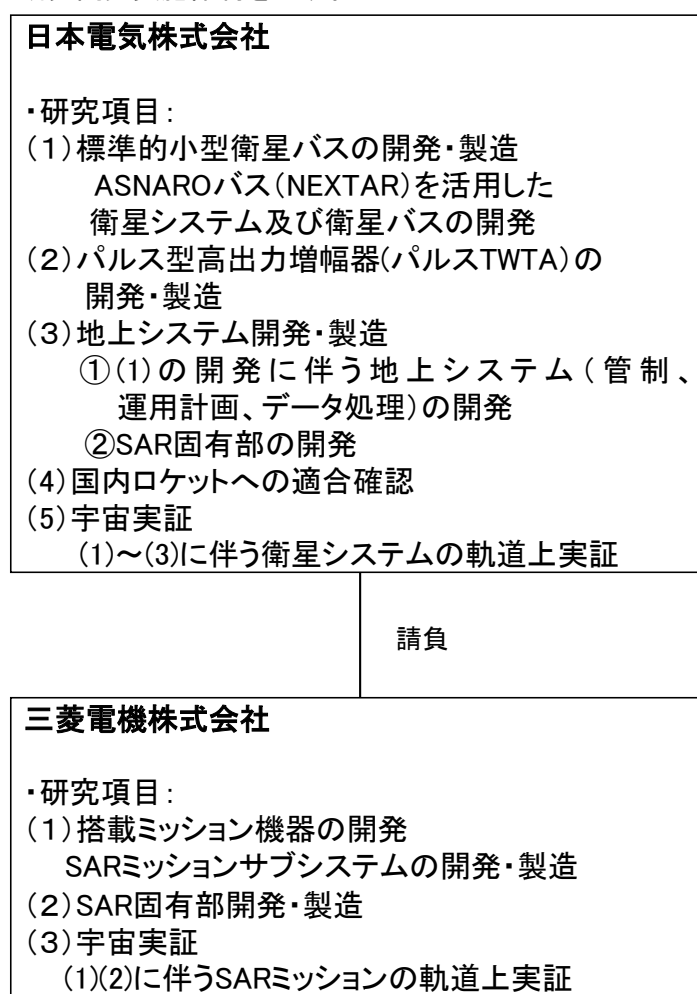


図 5-1. 研究開発実施体制

(2) 知財の取扱い

本事業では、開発した衛星の運用は民間に委ね、これらの運用事業者が衛星画像販売事業者として、新たなビジネスを開始することを後押しし、衛星画像販売事業者の育成に繋げている。一方で、宇宙二法(「人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律(通称：宇宙活動法)」及び「衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いの確保に関する法律(通称：衛星リモセン法)」)が施行される前は、宇宙条約において、民間による宇宙活動は国の許可・継続的監督が必要とされており、

また、特許等の知的財産にすることによってどのような技術であるかが明らかになってしまうことから、研究開発実施者は、最小限の論文のみ発表することとし、その他は研究開発実施企業内でのノウハウとして蓄積しながら、性能面での優位性を示す形で海外展開を進めている。

6. 費用対効果

6-1. 資金配分

投入された予算の各年度の総執行額、成果を表 6-1 及び以下に示す。

表 6-1. 各年度資金配分（単位：億円）

	平成 23 年度	平成 24～ 25 年度	平成 25～ 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	合計
超高分解能合成開口レーダ の小型化技術の研究開発							
日本電気株式会社	0.6	29.5	25.1	15.4	1.6	3.8	75.9
三菱電機株式会社	0	0	19.5	21.5	1.2	1.5	43.7
国立研究開発法人宇宙航空 研究開発機構	0	0	12.0	6.3	2.2	19.5	40.0
合計	0.6	29.5	56.6	43.2	5.0	24.7	159.6

①日本電気株式会社

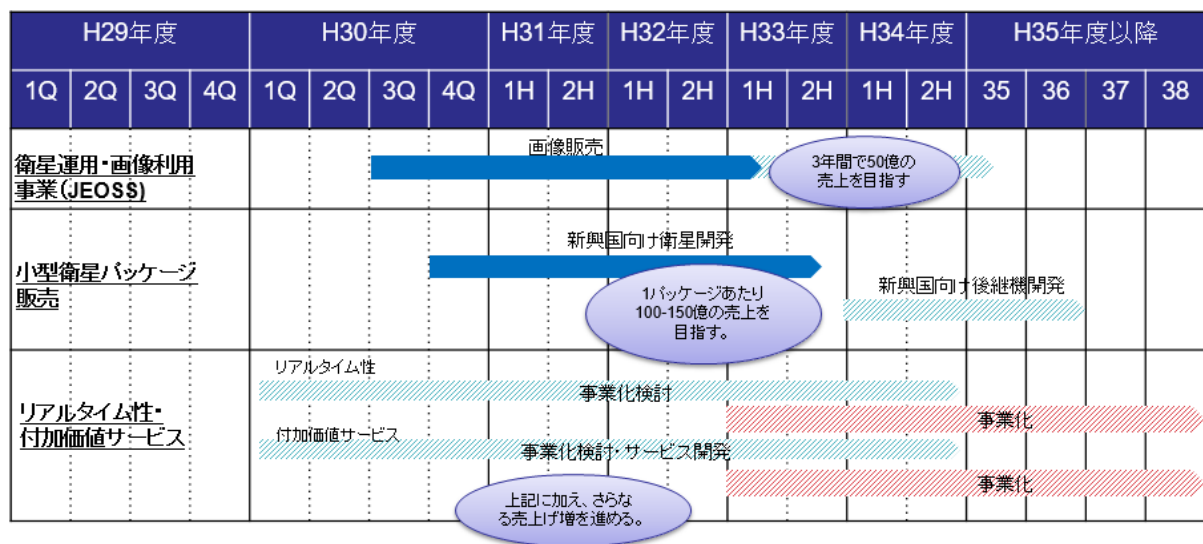
- ・ 標準的小型衛星バス（高電力 SAR 用）の開発
- ・ 搭載ミッション機器の開発
 - パルス型高出力増幅器（パルス TWTA）
- ・ 地上システムの開発
 - 管制、データ受信局
 - SAR 固有部
- ・ 宇宙実証
- ・ ロケット調達

②三菱電機株式会社

- ・ SAR ミッションサブシステムの開発
- ・ SAR 固有部の開発
- ・ 宇宙実証

6-2 費用対効果

ASNARO-2 の成果を用いて、今後 3 年間で 200 億以上の売り上げを目指すとともに、リアルタイム性向上・付加価値サービス事業を進めることでさらなる売上げ増を計画中である。



Ⅱ. 外部有識者（評価検討会等）の評価

1. 総合評価

日本の宇宙産業の国際競争力を強化するためには、小型・低コスト・省電力の合成開口レーダの開発は必須である。この観点から、本プロジェクトの全開発項目の当初目標をクリアし、軌道上実証まで達成できたことは大いに評価できる。また、商用分野を目指すためにXバンドで1m分解能を目標として設定したのは適切である。2年間で製造・試験完了まで対応できるという短納期の仕組みを構築できたことは、競合国に対するアドバンテージになるため、この点も大いに評価できる。

一方で、近時の国家プロジェクトでは、事業終了後のアウトカム達成に至るまでのロードマップを示すことが求められる。今回の研究開発を事業アウトカムに繋げるために、事業者は国の新たな資金に頼るのではなく、自ら市場を見つけていく努力が必要である。

また、現在の世の中の流れをみると、小型・低コスト化することで超小型コンステレーションに可能なセンサとし、より早く実証・実用・高性能化を繰り返せる仕組みを作り出すことが望ましい。

本プロジェクトのような研究開発では、事業アウトプット指標には数的議論が不可欠であり、数値が示されなければ、工学的にみて定量的な議論や判断ができない。成果に関する知財の取扱い等も不明確である。

【肯定的所見】

- ・（A委員）委託事業ではなく請負契約に基づくプロジェクトであり、アウトプットとして記載された成果については良好なものであると評価する。
- ・（B委員）小型衛星搭載可能な超高分解能合成開口レーダの開発を達成するとともに、小型実証衛星 ASNARO-2 の開発を着実に進め、軌道上その機能・性能を実証しつつある点は高く評価できる。そのデータ利用の準備についても着実に実施しており今後のデータ利活用による、アウトカムが期待できる。
- ・（C委員）日本が強みをもつ合成開口レーダの小型・低コスト化は、日本の宇宙産業の国際競争力強化にとって重要であり、その位置付けは妥当である。
また、商用分野を目指すためにXバンドで1m分解能を目標として設定したのは適切である。
投入金額的には、通常的大型衛星レベルの費用がかかっているが、このサイズの合成開口レーダ衛星の開発としては、当時としては仕方がないと考えられる。
- ・（D委員）事業アウトプットの目標が順当に達成されている。中間評価の指摘に対して適切に対応している。
- ・（E委員）我が国の宇宙産業の国際競争力を確保する為にも、小型・低コスト・省電力の合成開口レーダの開発が必須である。この観点から、本開発案件における開発項目の全てにおいて当初目標をクリアしたこと、また軌道上実証まで達成できたことは大いに評価でき、競争力の高い合成開口レーダ及び衛星システムが構築できたものと考えられる。
また、短納期の仕組みについて、2年間で製造・試験完了まで対応できるという即応の仕組みを構築できたことは競合国に対するアドバンテージとなるため、この点についても大いに評価できる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A委員）しかし、近時の国家プロジェクトにおいては、事業終了後のアウトカム達成に至るまでのロードマップを示すことが求められる。それゆえ、このプロジェクトにおいても、国際競争力確保の戦略的視点から開示可能な範囲を表明あるいは開示すべきであった。
- ・（B委員）論文成果について具体的記述がないので評価できないが、開発の重要性とその技術的達成度から考えて、論文数3は十分とは言えない。
また、小型衛星を活用した地球観測については、近年急速に活用が広まっており、小型衛星パッケージの商用展開戦略が、何をおいても重要と考えられる。世界的動向を踏まえて、より積極的な展開を期待したい。
- ・（C委員）アウトカムとして、宇宙産業の国際競争力の強化といているが、実際には、「産業協力」、「ODA」による参入や、政府衛星の調達であり、自由競争下における競争力の強化になっていない。今回の研究開発を事業アウトカムにつなげるために事業者は国の新たな資金を頼るのではなく、自ら市場をみつけていくことを努力する必要がある。
また、現在の世の中の流れをみると、これを商用化、つまり小型・低コスト化することで超小型コンステレーションに可能なセンサとし、より早く実証・実用・高性能化を繰り返し替えることが

可能な仕組みを作り出すことが日本の強みにすることにつながる。

- ・（E委員）事業アウトプット指標に、「中型大型 X バンド合成開口レーダ衛星に比肩」や「高電力小型衛星」などと工学的要素が無い表現で設定している。指標には、特に本案件の様な研究開発では、数的議論が不可欠であり、数値が示されなければ、工学的にみて定量的な議論や判断が出来ないため、アウトプット指標から数的理解ができるような配慮を頂きたい。

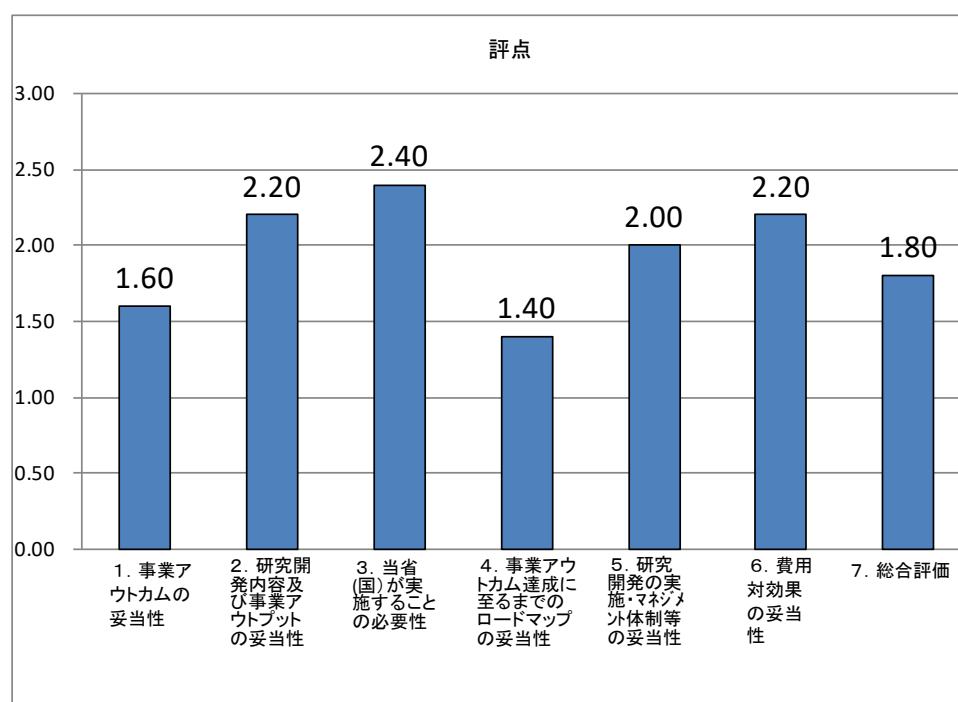
また、成果に関しての知財の取扱い等が不明確であると思われるため、公開できるのであれば、数的に示すこと、現時点で公開できない理由があるのであれば、その理由を含めて示すべき。

Ⅲ. 評点法による評価結果

評点法による評点結果

(超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発(終了時評価))

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業アウトカムの妥当性	1.60	1	2	1	2	2
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.20	2	3	2	2	2
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.40	2	3	2	2	3
4. 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	1.40	1	2	1	2	1
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.00	1	3	2	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.20	2	3	1	2	3
7. 総合評価	1.80	1	3	1	2	2



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～ 6.

- 3点：非常に重要又は非常に良い
- 2点：重要又は良い
- 1点：概ね妥当
- 0点：妥当でない

評価項目 7. 総合評価

(終了時評価の場合)

- 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、成果等が今一步のところがあった。
- 0点：実施された事業は、成果等が極めて不十分なところがあった。

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）

I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

プロジェクト名	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）
行政事業レビューとの関係	平成 29 年度行政事業レビューシート（事業番号 0036）
上位施策名	①日本再興戦略 2016（平成 28 年 6 月 2 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

プロジェクトの目的・概要

（１）部品・コンポーネント

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。

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、軌道上実証機会の拡充に向けた取組を行う。

（２）小型ロケット

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。

具体的には、①低コストモータケース製造技術に向けて CF RTP（熱可塑性樹脂含浸カーボン繊維複合材料）の基礎検討の実施、②固体ロケット用の実用組成を適用した捏和（＝混練）検証により捏和可能の証明、③アンモニウムジニトラミドを基材とする高エネルギーイオン液体の組成設計検討及び液滴の微細化による着火技術基盤の構築、④軌道上実証に必要とされる小型ロケット向けの飛行安全管理システムの検討、同搭載追跡用コマンド受信器（MRT：ミニチュアレーダトランスポンダ）及び小型軽量電源の開発、⑤軌道上実証に向けた衛星の設計検討、⑥炭化水素系液体推進剤ロケットエンジンシステムの改良を実施する。

予算額等（委託・補助（補助率：1/2, 2/3）				
（単位：百万円）				
開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成 23 年度	平成 33 年度 （予定）	平成 27 年度	平成 34 年度 （予定）	（一財）宇宙システム開発利用推進機構、（研）宇宙航空研究開発機構、インターステラテクノロジズ(株)
H27FY 執行額	H28FY 執行額	H29FY 執行額	総執行額	総予算額
298	349	331	1, 574	1, 631

1. 事業アウトカム

（１）部品・コンポーネント

事業アウトカム指標
民生品や他分野の部品・技術を活用した機器の実用化数。

（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。）		
指標目標値		
事業開始時	計画：目標設定なし	実績：－
中間評価時（平成 23-26 年度）	計画：宇宙実証を行った民生技術を活用した機器の実用化数 5 件（平成 27 年度中まで）	実績：平成 22 年度に上げた実証衛星 2 号機により、11 件の部品等について、平成 23 年度中まで、宇宙空間での実証を行い、評価・運用を経て実用化し、目標を達成。
中間評価時（平成 27-29 年度）	計画：民生部品・技術を活用した機器を 5 件実用化する。（平成 29 年度中まで）	実績：JAXA 小型実証衛星 1 号機への搭載予定の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 件の開発を終え、平成 30 年度の宇宙での実証に向けて準備を進めている。また、平成 29 年度の研究開発支援により、3 件の開発が終了し、目標を達成。
事業終了時・事業目的達成時	計画：民生品や他分野の部品・技術を活用した機器を平成 33 年度中までに、5 件実用化する。（平成 31 年度中までに 3 件）	

（２）小型ロケット

事業アウトカム指標		
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。		
指標目標値		
事業開始時（平成 27 年度）	計画：－	実績：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に着手。
中間評価時（平成 30 年度）	計画：－	実績：平成 30 年 1 月に小型ロケットの打上げ実験を行い、開発した飛行安全系の搭載機器及び関連装置が正常に動作したことを確認。 また、実用超小型衛星 (3U-CubeSat) を同ロケットに搭載し、正常に動作したことを確認。
事業終了時（平成 32 年度）	計画：－	実績：－
目標最終年度（平成 33 年度予定）	計画：5 件	

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

2. 1. 研究開発内容

(1) 部品・コンポーネント

宇宙、深部地中等、地上環境に比べて高温、高放射線等の極限環境で使用する機器の低コスト化、短納期化、高機能化を図るため、我が国が得意とする安価で高機能な民生部品・民生技術を選定して地上模擬試験及び宇宙実証試験を実施する。その結果、これらを宇宙等の極限環境に適用するための民生部品・民生技術データベース、選定評価及び適用設計ガイドライン等の知的基盤を構築する。

(2) 小型ロケット

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。

i) 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を開発する。

CFRP 製のモータケース、ノズルライナの製造コストの削減には既存メーカーの持つ従前の CFRP 成形技術から脱却し素材費の圧縮と設備の簡略化が必要である。そこで、本提案では自動車や航空機向けに開発されつつある低コスト成形手法を取り入れることにより大幅な成形コストの低減を可能とする。

ii) 民生技術（人工筋肉）を転用した固体推進薬の製造技術を開発する。

固体推進薬の製造コストは、原料単価よりも工程に係る管理費（人件費）の比率が高い。固体推進薬製造を、従来の手法から人工筋肉を用いた製造技術に転換すれば、①連続製造・高稼働率化、②製造工程・管理簡素化、③製造時間短縮、を実現するので低コスト化に資する。

iii) 民生技術（イオン液体）を利用した低毒性液体推進薬を開発する。

姿勢制御系推進器に用いられる液体推進剤はヒドラジンから低毒・無毒への切り替えが進まない。本提案で無溶媒型の低毒液体推進剤の開発に民生分野（創薬、医療、バイオ、再生可能エネルギー、機能性材料等の分野）で実用化が進むイオン液体の技術を導入。組成に高エネルギー物質（加熱分解により高温の低分子量化学安定ガスを発生する材料）を適用すれば、推進燃料の化学ポテンシャル向上にも寄与。

iv) 飛行安全系の搭載機器及び関連装置を開発する。

飛行安全系の搭載機器は高い信頼性及び品質が適切に管理されていなければならないが、民生部品による回路設計、機器回路構成の簡素化による部品点数の大幅削減による小型化・軽量化・高信頼性化、製造工程・管理の簡素化による管理費（人件費）等の大幅削減等により低コスト化を実現する。

v) 実用超小型衛星 (3U-CubeSat) を開発する。

衛星に搭載する機器は環境条件の厳しい宇宙空間での動作を求められ、現状高価なものとなっているが、すでに開発されている民生製品用 IC や技術などを取り入れて小型衛星を作ること、低コスト化及び短納期化を図る。

vi) 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を開発する。

宇宙ロケットの商業化を加速させるため、現状と同等の信頼性を確保した上で低コストな打上げシステムの実現を目指し、革新的なロケットエンジンシステムを開発する。具体的には、推力 10kN 級の炭化水素系液体ロケット燃焼器の開発、軌道投入機用ガス発生器及びポンプシステムの要素開発を実施する。

vii) 自律飛行安全システムを開発する。

国際競争力を有する超小型衛星用ロケットシステムの実現に向けて、ロケットの飛行安全を地上

無線局によって確保するのではなく、飛行安全のための地上無線局の一部又は全部が不要となり、打上げシステムの低コスト化等につながる、ロケットの内部で自律的に判断を行い、必要な飛行安全を確保する自律飛行安全システムを開発する。

viii) 量産化を見据えた小型液体ロケットエンジンシステムを開発する。

超小型軌道投入機用の小型液体ロケットエンジンシステムを開発するため、人工衛星を軌道投入可能な小型液体ロケットに必要な各コンポーネントの性能を確認し、地上統合燃焼試験によって全体の性能を取得する。また、量産化を見据えた各コンポーネントの製造方法の評価を行う。

ix) 量産化を見据えた小型液体ロケット機体製造技術を開発する。

軌道投入機用の小型液体ロケット機体製造技術を開発するため、超小型人工衛星を軌道投入可能な小型液体ロケットの構造及び推進剤タンクの製造方法ごとの基礎モデルの強度試験とロケット実物大スケールの強度試験を行う。また、量産化を見据えた製造方法の評価を行う。

2. 2. 事業アウトプット

(1) 部品・コンポーネント

事業アウトプット指標		
我が国宇宙産業の成長や国際衛星市場への参入を進める方法の一つとして、我が国企業が得意とする安価かつ高機能な民生部品・民生技術の衛星への転用を進め、信頼性を確保しつつ衛星の低コスト化、高機能化等を図ることが必要となる。 本事業を通じて、民生部品（CPU、メモリ等）・民生技術を活用する知的基盤を整備すること等により、衛星・コンポーネントの低コスト化、高機能化、短納期化を実現し、我が国宇宙産業の国際競争力を強化する。		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時	計画：衛星製造の低コスト化、短納期化、高機能化を実現するため、宇宙環境で実績のない民生部品・民生技術を適用するための知的基盤の構築を推進する。	実績：実証衛星1号機及び2号機の実証試験結果を受けて、民生部品・民生技術データベース、民生部品・民生技術選定評価ガイドライン及び民生部品・民生技術適用設計ガイドラインのドラフトを構築した。
中間評価時（H23～H26）	計画：実証3号機の設計開発を通して、搭載機器の要素試作を行い、使用している民生部品・民生技術を適用するための知的基盤を構築し、活用状況をフォローする。	実績：実証衛星3号機等の開発を開始し、この中で最新の民生部品・民生技術に対する地上模擬試験を実施した。また、実証衛星2号機の宇宙実証試験を評価することにより、民生部品・民生技術データベース及びガイドライン類を改訂した。並行してこれらの活用状況をフォローした。
中間評価時（H27～H29）	計画：宇宙実証試験の実験装置として、GPRCS、SSPA、SPMの開発を推進し、製造試験を実施する。また、低価格、高性能な宇宙用部品・機器開発のための補助事業を実施する。さらに、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。	実績：SSPAの開発を完了し、JAXA小型実証衛星1号機への搭載が決定されたGPRCS、SPMの製造、試験を推進し、JAXA側に引渡しを完了した。また、国内の部品・機器メーカを対象に、補助事業を展開し、新製品開発の援助を行った。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

		を構築した。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した。
事業終了時・事業目的達成時	計画：GPCRS、SPM の運用を実施し、低価格・高性能な宇宙用部品・機器の補助事業を実施する。また、小型衛星向け民生部品データベースの累計アクセス回数を平成 33 年度中までに 500 件にする。	実績：—

※【用語の名称】GPCRS：グリーンプロペラント推進系、SSPA：半導体増幅器、SPM：環境計測装置

<共通指標実績>

論文数	論文の被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス 供与数	国際標準への寄与	プロトタイプの作成
38	不明	2	不明	—	1	—

上記は平成 23 年度から平成 29 年度の実績である。この中には実証衛星 1 号機及び 2 号機の研究開発において実施されたものも含まれる。なお、上記の中で平成 27 年度から平成 29 年度においては、実証衛星 3 号機に関するものが中心となり、論文数は 8 件、特許等は 0 件、国際標準への寄与が 1 件となる。

(2) 小型ロケット

事業アウトプット指標		
民生品や他分野の部品・技術を活用した機器の実用化に向けて、要素技術を開発。		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 (平成 27 年度)	計画：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を開発する。 ②民生技術（人工筋肉）を転用した固体推進薬の製造技術を開発する。 ③民生技術（イオン液体）を利用した低毒性液体推進薬を開発する。 ④飛行安全系の搭載機器及び関連装置を開発する。 ⑤実用超小型衛星(3U-CubeSat)を開発する。 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を開発する。	実績：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に着手。 ①低コストモータケース製造技術に向けて CFRTP（熱可塑性樹脂含浸カーボン繊維複合材料）の基礎検討を実施 ②固体ロケット用の実用組成を適用した捏和（＝混練）検証により捏和可能を証明 ③アンモニウムジニトラミドを基材とする高エネルギーイオン液体の組成設計検討及び液滴の微細化による着火技術基盤を構築 ④軌道上実証に必要とされる小型ロケット向けの飛行安全管理システムの検討、同搭載追跡用コマンド受信器（MRT：ミニチュアレーダトランスポンダ）及び小型軽量電源の開発 ⑤軌道上実証に向けた衛星の設計検討を実施 ⑥炭化水素系液体推進剤ロケットエンジンシステムの改良を実施
中間評価時 (平成 30 年度)	計画：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を開発する。	実績：①低コストな CFRTP によるモータケース成形とレーザー溶着技術の適用可能性を確認するとともに、RTM（樹脂注入）成形によりノズル形状成形物の形成を完了。レーザー照射距離・出力の試行錯誤に

	②民生技術（人工筋肉）を転用した固体推進薬の製造技術を開発する。 ③民生技術（イオン液体）を利用した低毒性液体推進薬を開発する。 ④飛行安全系の搭載機器及び関連装置を開発する。 ⑤ 実 用 超 小 型 衛 星 (3U-CubeSat)を開発する。 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を開発する。	より、CFRTP におけるレーザー溶着条件を確立し、レーザー溶着技術を適用したモータケースの成形に成功した。RTM 成形によるノズル材料の研究では、円錐計上になるよう螺旋状に巻く織物ブリフォームの断面形状を、段を組み合わせる形状とし、RTM 成形によるノズル形状ライナの制作に成功した。 ②実用レベルに近いソフトアクチュエータ式固体推進薬捏和装置を製作し、固体ロケットモータの試作実証実験、燃焼試験を実施し、ロケットとしての推進性能が既存技術で製造したものと同等以上であることを確認した。実運用を見据え、材料投入装置と蠕動運動ポンプの整備性生産性の向上、耐久性の向上等や、より短い時間で捏和を可能とする蠕動運動ポンプの高速化・駆動パターン、材料投入量の検討を行った。 さらに、1 kg超の実組成火薬での試験を実施するため、防爆処理を施した。最後に、カーリットHD で捏和試験を実施し、その性能を、引っ張り試験、ストランドバーナでの燃焼圧測定、及び TM-80 ロケットモータでの地上燃焼試験によりその品質を確認した。 ③アンモニウムジニトラミドを基剤とする高エネルギーイオン液体推進剤 (EILPs) を適用した液体推進系の実現性を実証実験で確認した。ヒドラジンの代替となる液体推進剤には、低毒性であること以外に高性能、低融点であり、着火性に優れることが要求される。本事業における検討により高性能、低融点、高着火性組成の調製が可能となった。化学平衡計算上ヒドラジンの 1.6 倍の密度比推力を達成でき、推進系の小型軽量化に寄与できることが示された。 また、スラスタにおいてインジェクタより噴射された推進剤液滴に点火することを想定し、密閉容器中で液滴を対象とした点火実験を実施した。民生分野で研究が進むレーザー点火を導入し、これまで難燃性とされたイオン液体の点火を可能にした。さらに、新規推進剤 EILPs について、スラスタ形状での燃焼試験を行い、安定した燃焼を達成し、パラメータの取得ができた。 ④超小型ロケット向け搭載追跡用コマンド受信器 (MRT: ミニチュアレーダトランスポンダ) 及び CMD (コマンドデコーダ)、小型軽量電源の開発を行いロケットに実装し、軌道上実証により、総合的な機能検証を実施した。MRT 及び CMD は、飛行安全管理のためのロケットの位置標定、地上から送られるロケットの姿勢変更指示の受信・解読、第 2 段モータの点火許可であるシーケンス GO コマンドの受信・解読及び第 2 段モータ点火許可信号の送出の役割を担う。既存品の部分改修となる MRT は、民生部品による回路設計及び回路構成の簡素化を行い、CMD は信頼性維持と開発リスク低減の観点から MRT の設計と共通化を図ったうえで新規開発した。平成 30 年 2
--	---	--

		月の軌道上実証では、全て正常に機能することが確認された。 ⑤民生品を活用した3U サイズの衛星を実際に開発して小型ロケットに搭載し、軌道上実証を実施し、正常に機能したことを確認した。平成 30 年 2 月に軌道上実証を実施した TRICOM-1R（通称：「たすき」）は、衛星バスを東京大学開発の「ほどよし衛星シリーズ」の基盤技術の成果を基に軌道上実証された民生部品を多く使用するとともに、最新の民生デバイスの軌道実証として、光学・撮像素子に民生デバイスを採用した地球観測カメラの実証、高感度受信デバイスを利用した Store and Forward (S&F) ミッションの実証、及び自律的な写真撮影を可能にするオンデマンド自律即時観測ミッションに成功した。S&F ミッションは地球上の情報端末から衛星に向かって付属センサ等で取得したデータの送信を行うミッションで、衛星は地上端末から送られるデータを収集し、衛星が管制局上空に来た時にコマンドにより転送するものであり、無線デバイスには民生部品が使用された。 また、オンデマンド自律即時観測ミッションは、衛星の自律機能により、打ち上げ直後において地上局からの支援無しに地上写真を撮像する「即時観測」の機能実証であり、平成 29 年 1 月の実証実験にて使用された TRICOM-1 から付加された機能である。TRICOM-1R は、目標としていた 30 日間の実証期間を大きく上回る約半年間の軌道上実証に成功し、平成 30 年 8 月に地球に再突入した。 ⑥軌道投入用ロケットエンジンのポンプシステムのガス発生器とタービンの地上試験段階の基礎開発を完了した。
終了時評価時 (平成 34 年度)	計画：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を開発する。 ②民生技術（人工筋肉）を転用した固体推進薬の製造技術を開発する。 ③民生技術（イオン液体）を利用した低毒性液体推進薬を開発する。 ④飛行安全系の搭載機器及び関連装置を開発する。 ⑤実用超小型衛星(3U-CubeSat)を開発する。 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を開発する。 ⑦自律飛行安全システム	実績：－

	の開発 ⑧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 ⑨量産化を見据えた小型液体ロケット機体製造技術開発	
--	--	--

<共通指標実績>

論文数	論文の被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス 供与数	国際標準への寄与	プロトタイプ の作成
12	-	2	-	-	-	-

3. 当省(国)が実施することの必要性

(1) 部品・コンポーネント

宇宙システムは、特殊環境下で極めて高い信頼性が求められ、研究開発や技術実証には多額の費用が必要となるため、世界各国ともに国が責任を持って進めている。特に、宇宙空間において不具合の発生するリスクが MIL 部品と比べて高い民生部品・民生技術の宇宙実証は、民間企業のみで実施することが困難である。

このため、国が宇宙実証等の機会を提供し、民生部品・民生技術の衛星転用に必要な知的インフラ（データベース／ガイドライン）を整備する必要がある。また、本事業を通じて整備する知的基盤は、我が国産業界に公開し、整備の受益者が特定企業に限られないため、個別企業による事業実施は現実的でなく、国による事業実施が必要となる。

(2) 小型ロケット

宇宙基本計画や宇宙産業ビジョンにおいて示されているように、民生部品・民生技術を活用した宇宙用部品・コンポーネントの低コスト化は、我が国の宇宙機器産業の競争力強化に不可欠であるものの、一般的な民生部品・技術は宇宙空間という特殊な環境下での使用を前提とした設計・仕様になっていないため、低コスト化と信頼性を同時に達成するという高度な開発課題の解決が必要となる。

また、コンステレーション型ビジネス等の進展に伴い、現在、小型衛星の需要増加を踏まえた、低価格な小型衛星用打上げサービスの開発が各国において積極的に進められているものの、いずれも事業化には至っておらず、世界に先駆けて、競争力を有する打上げサービスの投入が重要となっている。

このため、低価格な小型衛星用打上げサービスの実現に資する民生部品・民生技術を活用した宇宙用部品・コンポーネントの低コスト化については、新規技術の研究開発であり、開発要素及び研究におけるリスクが大きいことから、本技術の研究開発は国による委託事業として実施することが必要。

なお、本事業は、これまでロケット打上げに係る知見やデータを蓄積してきた JAXA や小型ロケットのビジネス化に取り組むインターステラテクノロジズを中心として進めており、開発完了後に本事業の成果を民間事業者に移転することで、我が国小型ロケット産業全体への波及効果が期待できる。

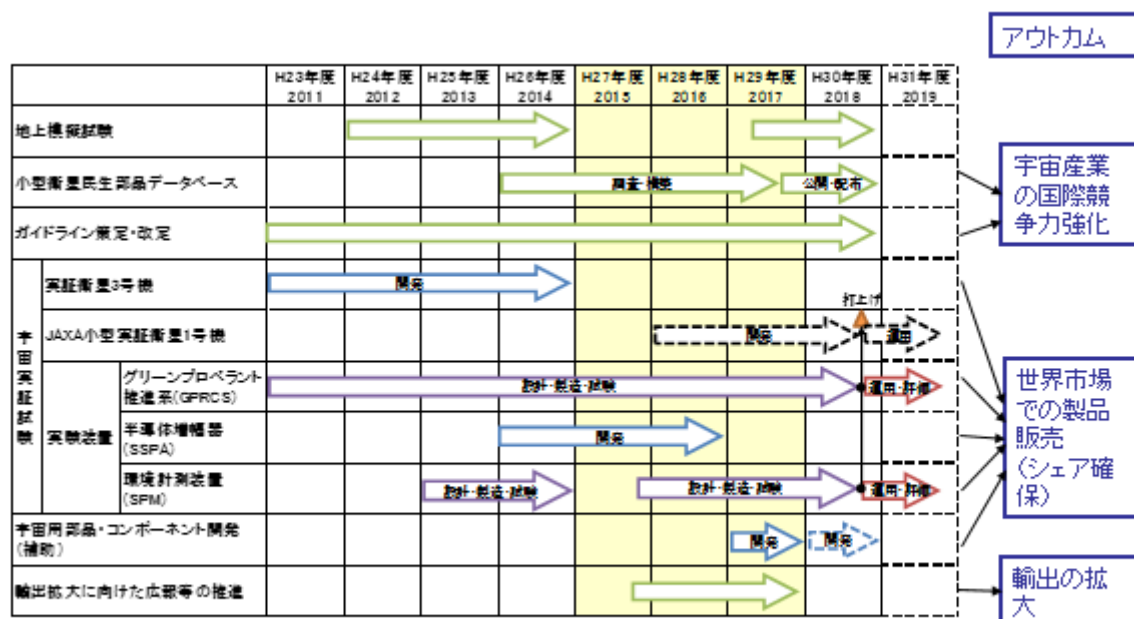
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

(1) 部品・コンポーネント

平成23年度から平成30（平成31）年度までの事業の線表を以下に示す。なお、実証衛星1号機及び2号機関連の研究開発は平成23年度第2四半期まで NEDO から機構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平成22年度第4四半期に NEDO 委託業務として開始したが、平成23年度から NEDO から経済産業省に移管された。

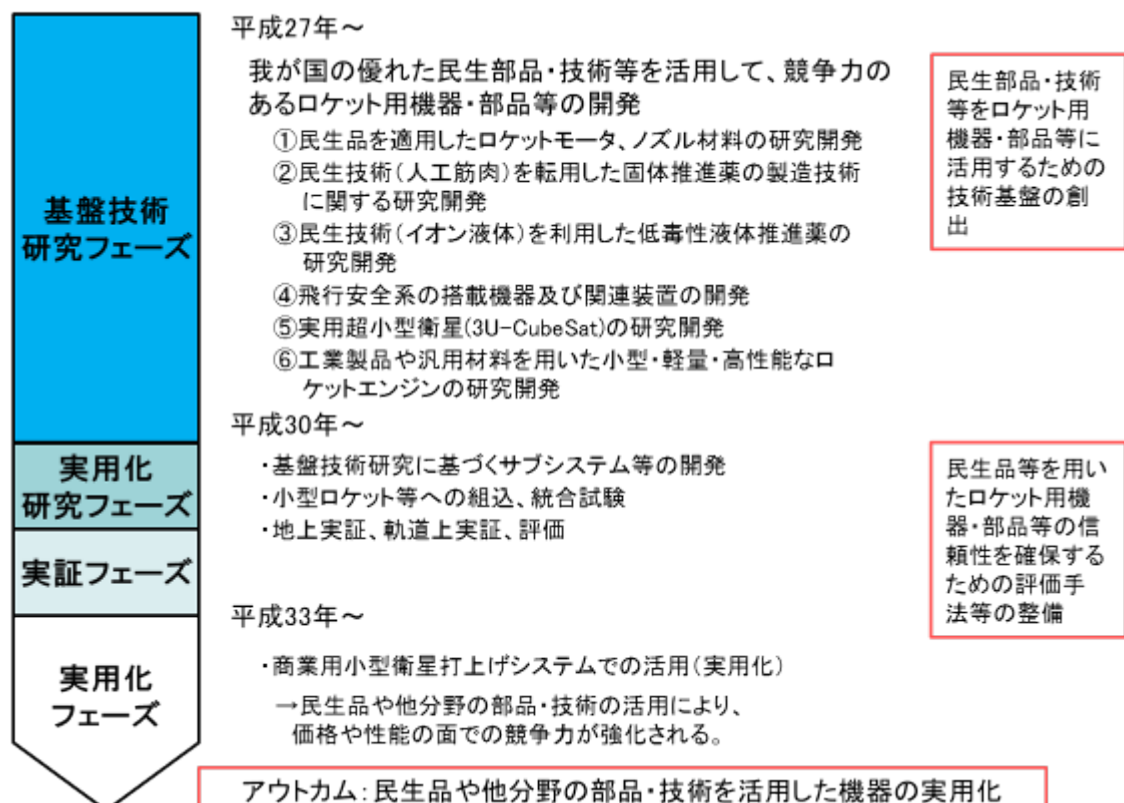
地上模擬試験、データベース、及びガイドライン類のアウトカムは我が国の宇宙産業の国際競争力強化の実現を目指すものである。宇宙実証試験を行う実験装置、宇宙用コンポーネントは、宇宙

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。



(2) 小型ロケット

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。



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

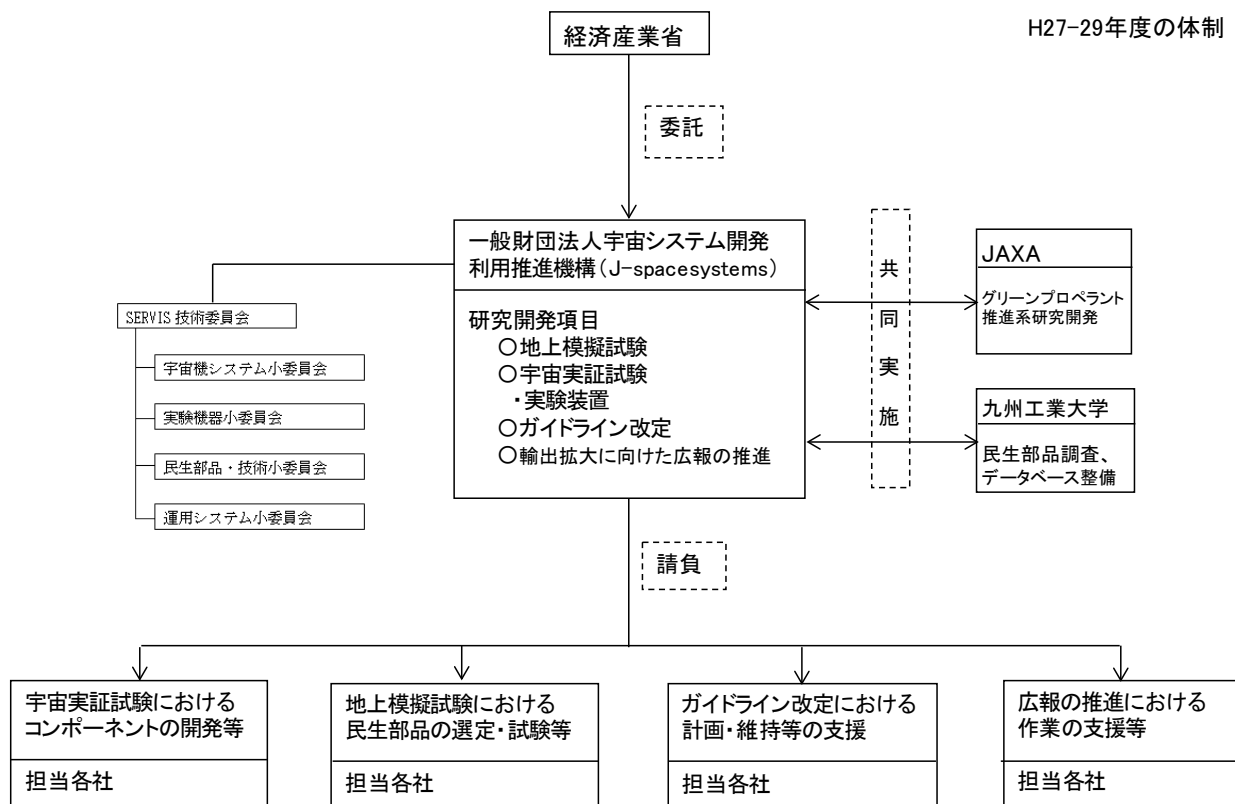
5. 1. 部品・コンポーネント

事業の体制を以下に示す。

本事業は一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構（以下「機構」という。）が経済産業省から委託を受け、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進めている。

その過程で、必要な場合は大学及び研究機関との共同実施を行う。また、機構内にSERVIS技術委員会を設置し、継続的に有識者によって事業計画、開発結果等を審議している。

下記の図には示されていないが、平成29年度は機構より民間企業等に対する補助により宇宙用部品・コンポーネントの研究を行った。



5. 2. 小型ロケット

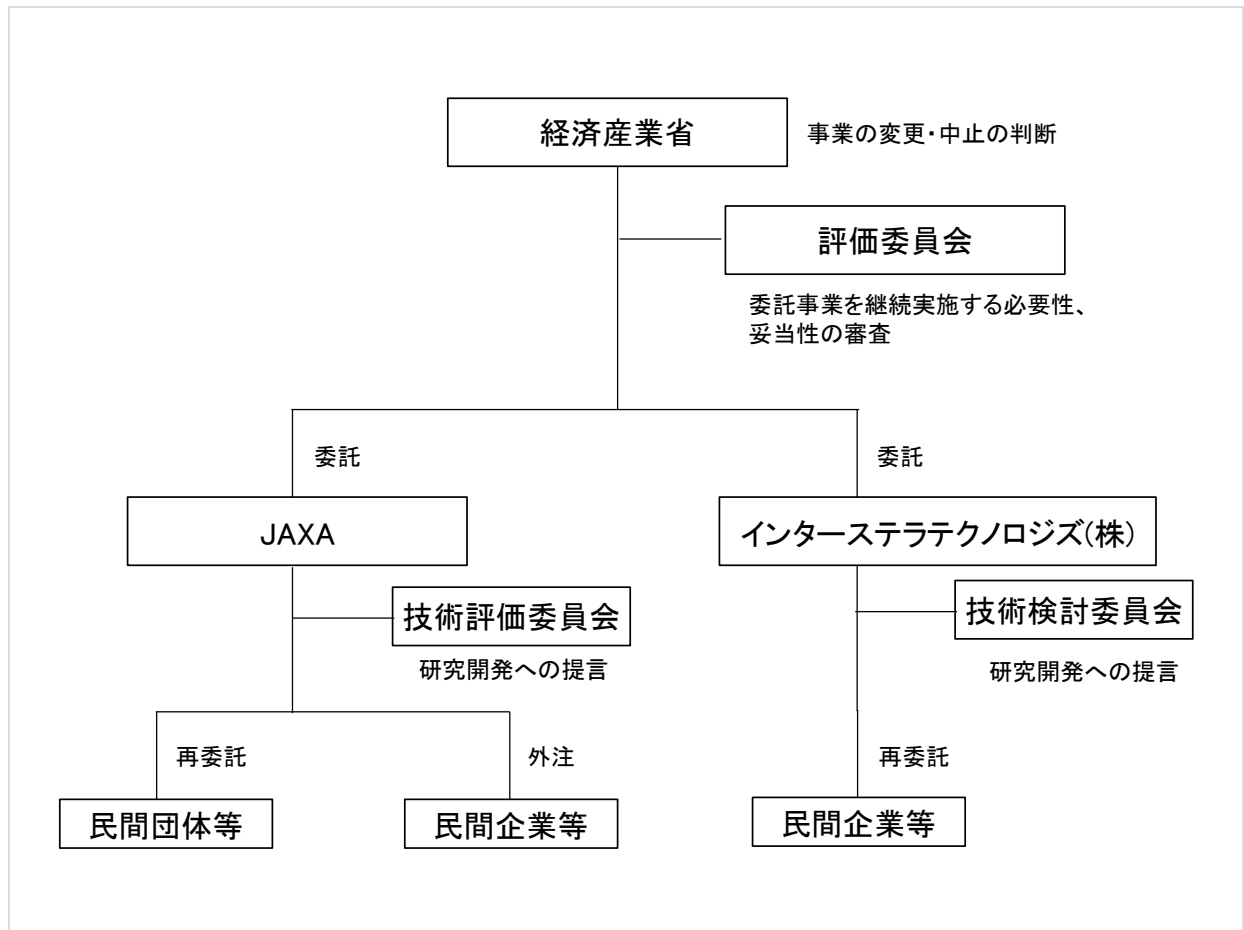
(1) 研究開発計画及び実施体制

本事業は、平成27年度から、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ピインターステラテクノロジズ(株)が経済産業省からの委託契約を基に実施している。

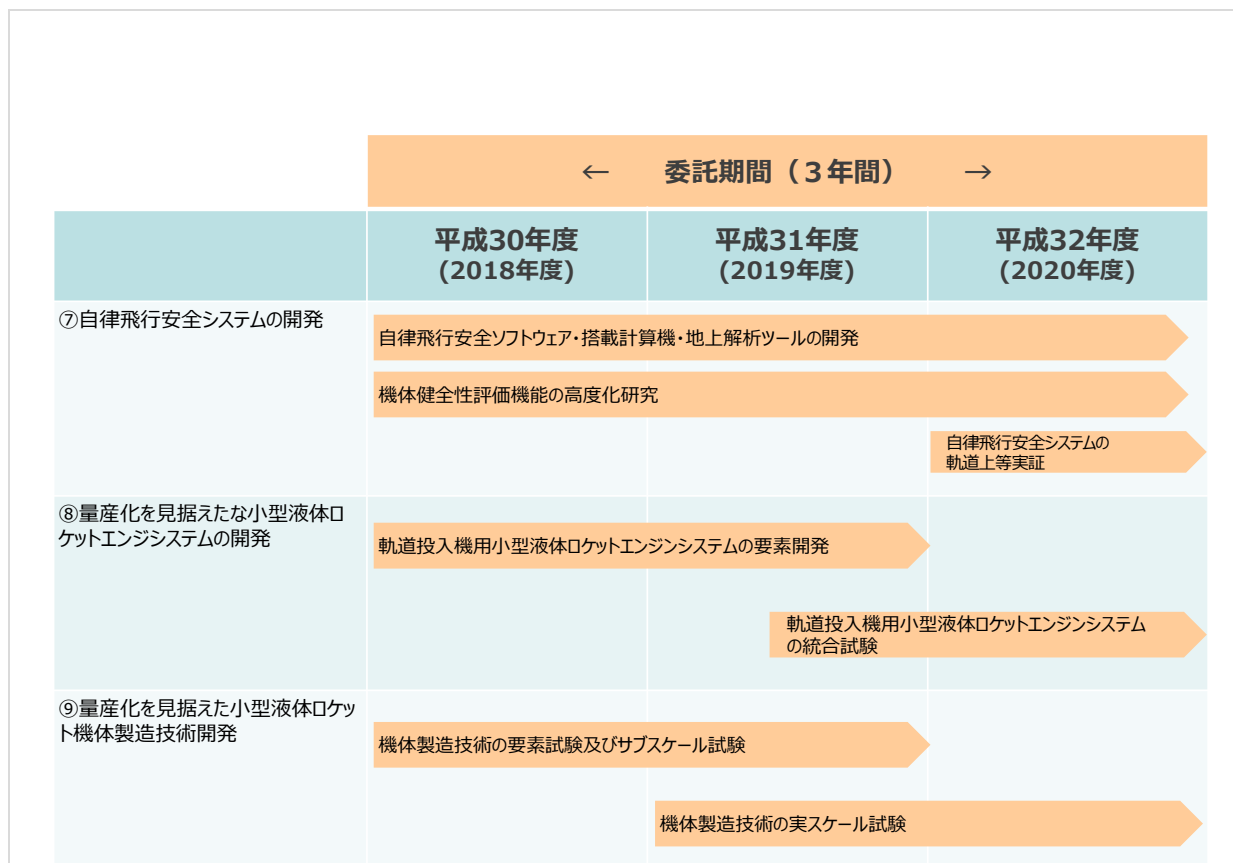
← 委託期間（3年間） →						
	平成27年度 (2015年度)	平成28年度 (2016年度)	平成29年度 (2017年度)	平成30年度 (2018年度)	平成31年度 (2019年度)	平成32年度 (2020年度)
JAXA	① 民生品を適用した ロケットモータ、ノズル 材料の研究開発	レーザー加熱成形手 法の基礎的な検討 ノズル計上プリフォーム 成形手法の検討 平板計上CFRPIによる 製作条件の最適化	小型モータケースの試作試験 ノズル形状ライナ試作試験	小型モータケースやノズルの製作について、固体ロケットに留ま らない幅広い技術の適用を視野に入れ、事業化に向けた課 題抽出を民間事業者と実施		
	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		中央大学設立の大学ベンチャーによる実用化に向けた研究開 発継続		
	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	民間事業者と共同研究を開始し、レーザ着火方式によるイオ ン液体推進系のシステム研究を実施。超小型衛星等への実 装を目指す		
	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	低コスト化した飛行安全搭載機器・コンポーネントの開発実績 を今後の小型ロケット開発に応用		
	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	TRICOM1-Rと同タイプの衛星をルワンダ 政府の衛星として開発、打上げ		
インターナ ショナル テクノロジ ス	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 軌道投入機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			

また、それぞれの受託事業者において、外部の学識経験者等から構成される技術委員会を設置し、研究実施内容について評価・助言をいただき、計画を適宜見直しながら進めている。

委託者である経済産業省においては、毎年、研究開発成果等を踏まえ、事業の変更、中止の判断を行うことにより、有効かつ効率的な研究開発を実施している。



なお、平成27年度から3年間の事業期間であったため、平成30年度に公募及び有識者による審査を経て、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ズ(株)の提案を採択した。



（２）国民との科学・技術対話の推進

本事業の内容や成果等をわかりやすく社会・国民に伝え、宇宙産業に対する理解と関心を深めてもらうことを目的として、実証試験等の一環として実施したロケットの打上げについては、見学等を可能とし、その日時等の周知を積極的に実施した。

- ①SS-520 4号機（JAXA）：平成29年1月15日に鹿児島県肝属郡肝付町から打上げ
- ②SS-520 5号機（JAXA）：平成30年2月3日に鹿児島県肝属郡肝付町から打上げ
- ③MOMO 初号機（インターステラテクノロジズ）：平成29年7月30日に北海道広尾郡大樹町から打上げ

(3) 年度毎の資金配分

公募による選定審査手続きを踏まえて、以下のとおり、資金配分を実施した。

(単位：百万円)

実施者	研究開発項目	H27 年度	H28 年度	H29 年度	合計
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 ズ	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

(4) 社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応

世界的な小型衛星の打上げ需要の増加により、低コストな商業用超小型衛星打上げシステムについては世界各国で開発競争が活発化していることから、民生部品や民生技術を用いたロケットの低コスト化技術の国際動向調査を実施し、開発状況や実用化の動きなど世界の動向を的確に把握しながら、研究開発を実施した。

6. 費用対効果

6. 1. 部品・コンポーネント

(1) 知的基盤による効果

本研究開発で構築された民生部品・民生技術データベース、民生部品・民生技術選定評価ガイドライン、民生部品・民生技術適用設計ガイドラインは我が国で初めて構築された知的基盤であり、本研究開発に参画した企業等では継続して活用されている。更に、ベンチャー企業や大学等においても大いに役立っている。これらの情報は機構に申請を頂き審査した結果、提供する形としている。平成 27～29 年度は、データベースについては 4 社・組織に提供し合計で 753 品種、またガイドライン類については 6 社・組織に提供した。これらは我が国の宇宙産業の底上げと裾野拡大に継続的に貢献している。

更に平成 26 年度より、国内で開発・運用されている超小型衛星及び CubeSat を対象として民生部品の調査・収集を行い、新たに小型衛星民生部品データベースとして構築し、平成 29 年 10 月より一般に公開している。こちらのデータベースは平成 29 年度末時点で約 1900 件のアクセス数を記録しており、我が国の超小型衛星等の開発ユーザに有益な情報を提供している。小型衛星民生部品調査及びデータベースに関する、平成 29 年度までの論文数は 3 件である。

(2) 実験装置をベースとした機器・コンポーネントの世界市場での販売

ア. リチウムイオンバッテリー (LIB)

実証衛星 1 号機において、3 億円程度で開発し宇宙実証された実験装置の 1 つである LIB は、開発企業により世界市場での販売がなされており、世界の商用衛星の約 40% のシェアを獲得している。

LIB の世界展開により、バッテリーセルメーカーへの波及効果があり、国際宇宙ステーション (ISS) のバッテリーは平成 28 年以降全てこのバッテリーセルメーカー製の LIB に置き換えられることとなった。

更に、LIB の開発・利用での優位性を維持・強化するため、日本がリードして国際標準化を推進した。その結果、ISO17546 として平成 28 年 3 月に制定された。

現在までの LIB 販売数は 100 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、推定 100 億円の波及効果となっている。

イ. その他の機器・コンポーネント

実証衛星 1 号機及び 2 号機で実証された実験装置の販売も努力を継続しているが、国内衛星への搭載が中心であり海外への展開は容易ではない。

実証衛星 3 号機の開発における実験装置は、グリーンプロペラント推進系（GPRCS）及び環境計測装置（SPM）を JAXA 小型実証衛星 1 号機で宇宙実証する計画である。この実証結果により世界市場への販売が可能である。

GPRCS と SPM を合わせた開発費は約 3 億円であり、これらはこれまで我が国が 0 であった世界市場で、一定のシェアを確保することを目指している。平成 29 年度までの論文数は GPRCS が 5 件、SPM が 2 件である。

（３）衛星バスの低コスト化

実証衛星 1、2 号機の衛星バスについては、本研究開発の成果として低コスト化の見込みが得られた。これらの実証衛星と同程度の規模（500～1500kg クラス）の衛星バスの場合、将来のリカリング販売においてはコストが半減できる見込みである。

実証衛星 3 号機に関してはシステム統合化検討の結果、100kg 級衛星バスについてペイロード搭載比率向上とペイロードインタフェースの簡素化等によって拡張性と操作性に優れたバスを構築可能となった。その結果として衛星バスの低コスト化が期待できる。実証衛星 3 号機に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。本小型衛星バスに関する、平成 29 年度までの論文数は 5 件である。

6. 2. 小型ロケット

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ものの、現在、小型ロケットの打上げサービスを事業化している企業は世界にない。このため、世界に先駆けて、価格競争力のある小型ロケット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、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、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。）

なお、内閣府の小型・超小型衛星の打上需要調査結果（平成 30 年 5 月）によれば、我が国企業が獲得の可能性のある小型ロケットの打上げ機数は、最大 105 機/年との予測。

Ⅱ. 外部有識者（評価検討会等）の評価

1. 総合評価

宇宙産業技術情報基盤を整備していく上で重要な技術について、戦略的に取り組み、搭載機器開発、小型衛星・ロケット打ち上げなど多くの成果を上げている点は高く評価できる。また、要素技術研究を多数含み、大学や JAXA との効果的な連携を図っており、研究論文等も多数実現できており、学術的な貢献としても特筆に値する。

今後の超小型衛星の増加を睨み、世界中で小型ロケットの開発が進められている。特にロケット開発は、費用がかかる上、技術的にも実現が難しいものが多いため、国が主導してこれにいち早く取り組んだことは妥当である。また、時代を見据えて、大手企業だけでなく、ベンチャー企業を体制に入れていることや、限られた予算で実際に実証を行っていることも評価できる。

衛星開発では基本的に認定品を用いている中、民生部品の転用促進に向けて、中小企業にとって宇宙実証を行うにはハードルが高いため、実証機会を国が提供することは非常に重要である。

SERVIS において開発された機器の一部の軌道上実証を見送った点は戦略的判断として理解できるが、搭載機器にとって軌道上実証は非常に重要な要素であるので、何らかの機会に軌道上での実証を実現することが期待される。また、軌道上実証を実現した機器についても、国内外のミッションで活用されることが、アウトカムとして非常に重要であり、継続的に取り組まれることが期待される。

また、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。

【肯定的所見】

- ・（A 委員）グリーンプロペラント推進系、半導体増幅器、環境計測装置に関わる民生部品・技術データベース、選定評価ガイドライン(知的インフラ)を構築することは、本プロジェクトの主たる目標なのであるから、中間評価時に所定の成果が達成されていることは、妥当であると評価する。
- ・（B 委員）宇宙産業技術情報基盤を整備していく上で重要な技術について、戦略的に取り組み、搭載機器開発、小型衛星・ロケット打ち上げなど多くの成果を上げている点は高く評価できる。また、要素技術研究を多数含み、大学や JAXA との効果的な連携を図っており、研究論文等も多数実現できており、学術的な貢献としても特筆に値する。
- ・（C 委員）今後の超小型衛星の増加を睨み、世界中で小型ロケットの開発が進められている。特にロケット開発は、費用がかかる上、技術的にも実現が難しいものが多いため、国が主導してこれにいち早く取り組んだことは妥当である。また、時代を見据えて、大手企業だけでなく、ベンチャー企業を体制に入れていることも評価される。
また、限られた予算総額にも関わらず、実際に実証をおこなっているのも評価される。
失敗があったことを改善すべき点とする人もいるかもしれないが、むしろ、支援することで失敗が許される状況をつくることも重要である。新しいことに挑戦するためには失敗はあってしかるべきである。
- ・（D 委員）本事業は日本の宇宙産業を発展させるために必要な事業であり、順調に成果を出しており、さらなる伸びが見込まれる。
- ・（E 委員）今後認定品には頼れないので、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。しかしながら宇宙実証を行う事は、中小企業にとってはハードルが高く、良い技術でも宇宙利用されずに埋もれてしまい、結果に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を続けていく事は、非常に重要である。
個別案件に言及すると、特に、推進系の研究開発については、超小型衛星に適した推進器が現状少ないため、次期委託期間で超小型衛星の適用可能な段階まで来ていると認識している為、良い成果が得られていると判断できる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A 委員）しかしながら、本事業が予定するアウトカムは、部品・コンポーネント供給能力の裾野を底上げしつつ拡大することによって、宇宙産業のシステムセリング・パワーを強化することのみならず、部品・コンポーネント分野における一定の世界市場シェアを確保することにある。このような「勝つための」構想に基づくのであれば、少なくとも、知財管理体制(特許、技術ブラ

ント商標の管理体制)のみならず、データ「監理」体制(メーカー名、型式のレベルを越えた情報のインテリジェント化を含む)、国際標準化の推進体制(ISO/TC20 や宇宙放射線のみならず他の分野も視野に入れた体制)を組み入れて、SERVIS 技術委員会の役割機能を強化すべきであろう。

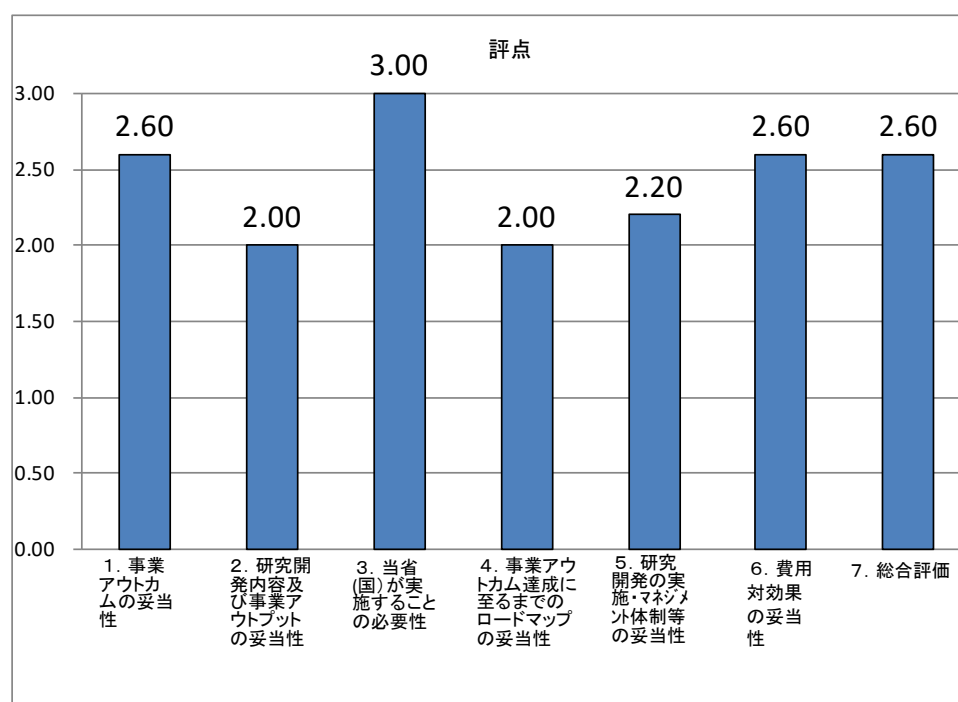
- ・(B委員) SERVIS において開発された機器の一部について、JAXA との連携の中で、実証衛星3号機での軌道上実証を見送った点は戦略的判断として理解できる。一方において、搭載機器にとって軌道上実証は非常に重要な要素であるので、何らかの機会に軌道上での実証を実現することが期待される。また、軌道上実証を実現した機器についても、国内外のミッションで活用されることが、アウトカムとして非常に重要であると考え。継続的に取り組まれることが期待される。
- ・(E委員) 全ての案件にて軌道上実証までは至っていない。そのこと自体は、過去3か年の計画に含まれていないため問題ない(評価対象外)が、軌道上実証してこそ国内外での評価が確たるものとなり、事業化にもつながっていくものと考え。よって、軌道上実証まで見据えて、継続的に支援をする必要があると考える。また、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し、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。

Ⅲ. 評点法による評価結果

評点法による評点結果

(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))

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.60	2	2	3	3	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.00	1	3	2	2	2
3. 当省(国)が実施することの必要性	3.00	3	3	3	3	3
4. 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	2.00	1	3	2	2	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.20	1	3	3	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.60	1	3	3	3	3
7. 総合評価	2.60	1	3	3	3	3



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～ 6.

- 3点：非常に重要又は非常に良い
- 2点：重要又は良い
- 1点：概ね妥当
- 0点：妥当でない

評価項目 7. 総合評価

(中間評価の場合)

- 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。

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）

I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

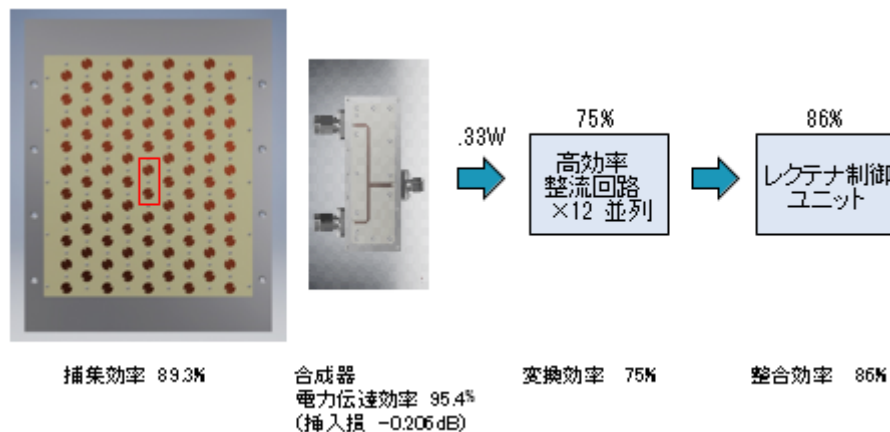
プロジェクト名	宇宙太陽光発電における無線送受電技術の高効率化に向けた研究開発（旧：太陽光発電無線送受電高効率化の研究開発）			
行政事業レビューとの関係	平成 29 年度行政事業レビューシート（事業番号 0233）			
上位施策名	①エネルギー基本計画（平成 26 年 4 月 11 日閣議決定） ②環境エネルギー技術革新計画（平成 25 年 9 月 13 日総合科学技術会議改訂） ③宇宙基本計画（平成 28 年 4 月 1 日閣議決定） ④日本再興戦略 2016（平成 28 年 6 月 2 日閣議決定）			
担当課室	経済産業省製造産業局宇宙産業室			
プロジェクトの目的・概要 将来の新エネルギーシステムである宇宙太陽光発電システム（SSPS: Space Solar Power System）の中核的な技術であるマイクロ波による無線送受電技術の確立に向け、送受電効率の改善、低コスト化のための薄型軽量化を図り、宇宙実証・産業応用を可能とする基盤技術の研究開発を実施する。 宇宙太陽光発電システムの実現に向けた重要な要素技術であるマイクロ波による無線送受電技術について、研究開発の中長期のロードマップに基づき、送受電部の高効率化等の研究開発等を行う。また、開発した無線送受電技術の垂直方向での実証を行う。				
予算額等（委託）				
（単位：百万円）				
開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成 26 年度	平成 35 年度 （予定）	平成 27 年度	平成 36 年度 （予定）	（一財）宇宙システム開発利用 推進機構
H27FY 執行額	H28FY 執行額	H29FY 執行額	総執行額	総予算額
248	249	249	993	1,000

1. 事業アウトカム

< 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（旧：太陽光発電無線送受電高効率化の研究開発） >

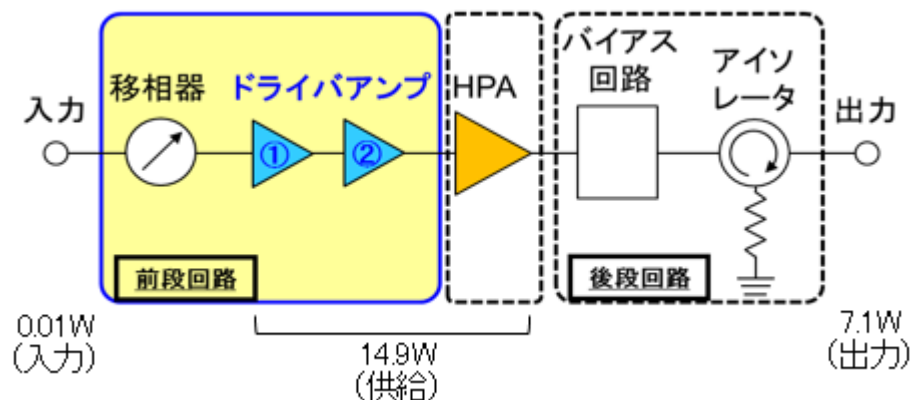
事業アウトカム指標		
【アウトカム指標】平成 30 年度までに、受電部の総合効率を 50%に改善。		
【アウトカム指標設定の根拠】宇宙太陽光発電システムの実用化に向けたマイクロ波無線送受電技術等の研究開発に係るロードマップに基づき設定。		
指標目標値		
事業開始時（平成 26 年度）	計画：50%	実績：42%
中間評価時（平成 30 年度）	計画：50%	実績：54.9%
終了時評価時（平成 36 年度）	計画：60%	実績：－
目標最終年度（平成 57(2045)年頃）	計画：80%	

高効率な受電部の一部試作として、整流回路及びレクテナ制御ユニットを試作し、効率を確認し、受電部総合効率を算出した。



受電部総合効率＝捕集効率 89.3%×合成器効率 95.4%×変換効率 75.0%×整合効率 86.0%＝54.9%

事業アウトカム指標		
【アウトカム指標】平成 35 年度までに、周辺回路を含めた送電部の総合効率を 60%に改善。		
【アウトカム指標設定の根拠】宇宙太陽光発電システムの実用化に向けたマイクロ波無線送受電技術等の研究開発に係るロードマップに基づき設定。		
指標目標値		
事業開始時（平成 26 年度）	計画：40%	実績：35%
中間評価時（平成 30 年度）	計画：40%	実績：（平成 30 年度中に計測）
終了時評価時（平成 36 年度）	計画：60%	実績：－
目標最終年度（平成 57 (2045) 年頃）	計画：80%	



【HPA モジュール概略ブロック図】

量産試作 HPA（評価結果：平均 PAE69.5%）を組みこんだ HPA モジュールを試作。移相器やアイソレータ等での減衰及びドライバンプでの電力消費により、HPA モジュール出力端にて、PAE47%以上の評価結果を得た。

HPA モジュール以外の効率を考慮すると、送電系全体での総合効率は 44%となる見込みであり、平成 30 年度中に計測する予定。

※参考：PAE[47%]＝（出力電力[7.1W]－入力電力[0.01W]）／ 供給電力[14.9W]

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（１）研究開発内容

【マイクロ波無線送受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

平成 26 年度まで実施していた本事業の前身の太陽光発電無線送受電技術の研究開発事業において開発した 5.8GHz 帯でのマイクロ波無線送受電システムの効率は、将来の宇宙太陽光発電システムで想定されている効率に比べ開きが大きく、更に改善する必要があるため、本事業において、電力からマイクロ波への変換効率及びマイクロ波から電力への変換効率の向上に係る研究開発を実施した。

送電系高効率化として、送電部に使用する GaN HPA の電力付加効率（PAE）を平成 26 年度実績の 70%から 80%に向上させることを目標に開発を行った。具体的には、マイクロ波電力伝送用の高出力増幅器（HPA）の供給直流電力と高周波出力電力の変換度合を示す電力付加効率（PAE）を向上させるために、HPA 素子の構造パラメータ（ゲート長、ゲート・ドレイン間距離）の最適化検討、試作・評価を行った。

また、受電系高効率化として、捕集効率を平成 26 年度実績の 80%から 90%に向上させることを目標に開発を行った。アンテナの捕集効率を向上させるために、アンテナアレイ配置の最適化検討、試作・評価を行った。

送電部総合効率については、平成 30 年度に 40%（平成 26 年度実績 35%）を目標とし、これまでに開発した高効率半導体素子を用いた送電部の開発を実施する。送電部の更なる高効率化のため、周辺回路高効率化の研究を実施する。受電部総合効率については、平成 30 年度に 50%（平成 26 年度実績 42%）を目標とし、これまでの成果を反映し、捕集効率を向上した高効率な受電部を一部試作・評価した。

②薄型軽量化に資する研究開発

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受電システムの薄型軽量化が必要不可欠である。本事業では、送受電システムの更なる薄型軽量化を図るため、厚さ 10mm 以下（平成 26 年度実績約 25mm）を目標とし研究開発を実施した。

微細加工技術を高周波電子工学に使うナノ RF エレクトロニクス技術の革新的な方法として、異種半導体混成集積回路：Hybrid Semiconductor Integrated Circuit（以下 HySIC）がある。一つの半導体基板上に IC を作り上げるモノリシックマイクロ波集積回路（Monolithic Microwave Integrated Circuits:MMIC）と異なり、HySIC は、Si 半導体基板上に展開した、ドライバ回路や整合回路と GaAs 増幅器等を半導体接合技術によりひとつに融合化を目指す技術である。高効率な送電部の半導体増幅回路を用いた HySIC 実現性検討を行った。受電部のレクテナのための高効率整流回路の MMIC を融合する HySIC 整流回路を開発した。

（２）事業アウトプット

事業アウトプット指標		
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。 具体的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。 〔具体の研究開発項目〕 ①高効率化に資する研究開発 ②薄型軽量化に資する研究開発		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成 26 年度）	計画：1 事業/年	実績：1 事業/年 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に着手。 （１）高効率化に資する研究開発 （２）薄型軽量化に資する研究開発
中間評価時 （平成 30 年度）	計画：1 事業/年 （１）高効率化に資する研究開発	実績：1 事業/年 マイクロ波無線送受電システムの基盤技術に関する次の研究開発を事業として実施。 （１）高効率化に資する研究開発

	①送電部に使用する GaN HPA の電力付加効率 (PAE) を 70% から 80% に向上させる。 ②量産化 HPA の電力付加効率 (PAE) を 60% から平均 68% 以上に向上させる。 ③受電系高効率化として、捕集効率を 80% から 90% に向上させる。 (2) 薄型軽量化に資する研究開発 ④送受電システムの薄型軽量化として、厚さを約 25mm から 10mm 以下にする。	①実績のある製造プロセスを C 帯周波数に適用・改良した短ゲート長プロセスの適用により、HPA 素子のドレイン効率および利得の向上を行うとともに、反射特性改善による整合回路損失の低減を行った。HPA 2 次試作のロードブル測定 (最適付加条件) において、最大 PAE 81% を達成した。 ②量産化にあたり信頼性・製造性を考慮してデバイス構造を決定した。量産プレ試作、量産試作、内部整合回路の調整等を行い、量産化 HPA の評価結果は、30 素子を製作して、平均 PAE 69.5% を達成した。 ③アンテナ内部の低損失化および捕集効率を最大化できるアンテナの最適配置を検討した。単素子、ペア素子、合成器の試作・評価を行い、アンテナアレイに適用して問題ないことを確認した。高効率受電アンテナアレイの試作・評価を行い捕集効率の実測値は 81.7% から 89.3% となり 8 ポイント程度改善することを確認した。 (2) 薄型軽量化に資する研究開発 ④半導体デバイスは GaN と Si とし、シリコンプロセスを用いてその周りの受動回路を Si 基板上に作製し (IPD: Integrated Passive Device)、さらにこれら半導体デバイスと IPD を、Si ベース基板上に実装して HySIC 整流回路とした。世界初の HySIC 技術を適用したレクテナアレイ (アンテナ+HySIC+RF スイッチ) を試作し、厚さ 10mm 以下を達成した。
終了時評価時 (平成 36 年度)	計画: 1 事業/年	実績: —

<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の 実施件数	ライセンス 供与数	国際標準へ の寄与	プロトタイプ の作成
91	>21	1	1	0	0	8

なお、上記は平成 26 年度から平成 29 年度の実績である。評価対象となる平成 27 年度から平成 29 年度においては、論文の被引用件数が「>20」となる (それ以外の指標は平成 27 年度以降の実績)。

3. 当省(国)が実施することの必要性

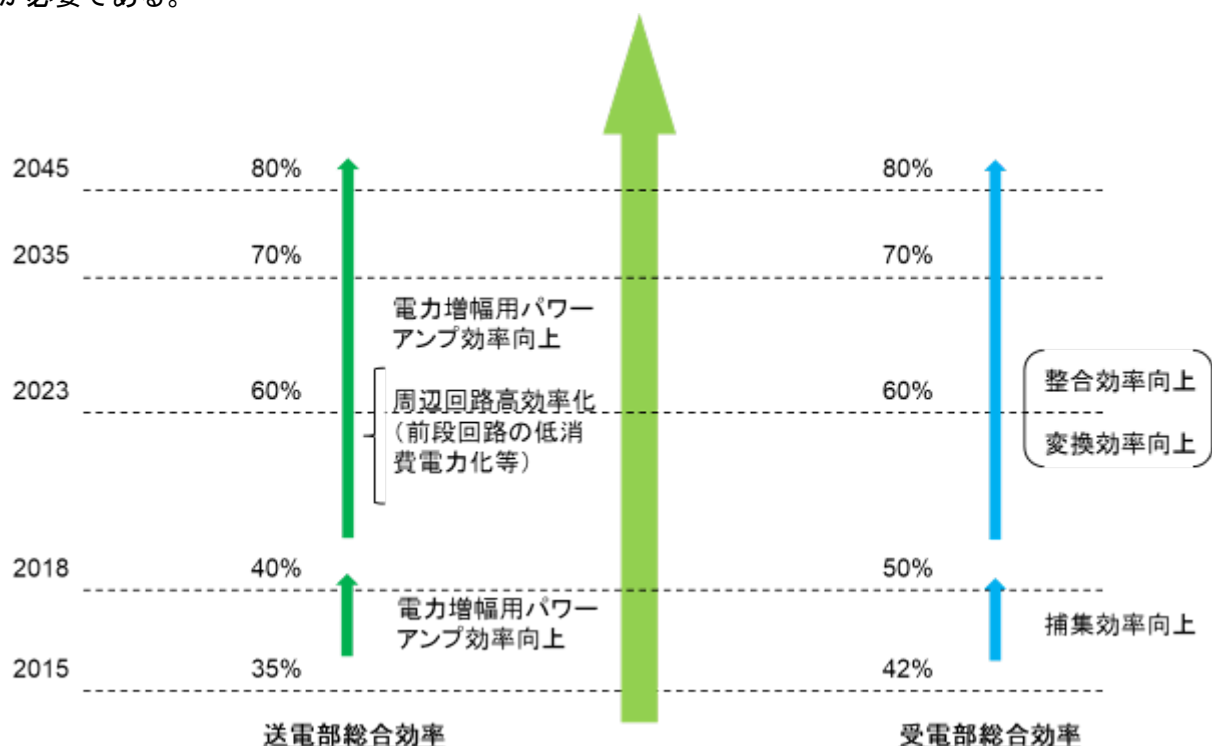
宇宙太陽光発電システムについては、発電時に温室効果ガスの排出がなく、地上太陽光発電と異なり昼夜や天候に左右されることなく発電が可能であることから、地球環境問題等への対応やエネルギーの安定供給の確保の観点から、将来の新エネルギーシステムとなる可能性を有している。このため、エネルギー基本計画や宇宙基本計画等において、宇宙太陽光発電システムの実現に向けた研究開発の必要性が明記されている。

一方で、宇宙太陽光発電システムの実現には、先端的な半導体技術から高信頼性が求められる宇宙技術に至るまで、多岐にわたる専門技術と長期の取組が必要であり、民間企業だけで研究開発や技術実証を行うことは困難であるとともに、新規技術の研究開発であることから、開発要素及び研

究におけるリスクが大きく、本技術の研究開発は国による委託事業として実施することが必要である。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

マイクロ波無線送受電技術における送電部総合効率及び受電部総合効率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、前段回路の低消費電力化、後段回路の損失低減が必要であり、受電部総合効率の向上には捕集効率、変換効率、整合効率それぞれの効率向上が必要である。



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) 研究開発計画

研究開発計画を表 5-1 に示す。

表 5-1 研究開発計画

研究開発項目	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度
マイクロ波無線送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	一次試作評価▽	二次試作評価▽	HPA素子試作評価▽	送電部高効率化の検討・送電部開発	
・マイクロ波-電力変換効率		要素検討	要素試作評価	受電部高効率化の検討・受電部開発	
(ii) 薄型軽量化に資する研究開発		半導体試験装置整備	レクテナレイ試作評価▽		
		薄型軽量化試作開発			

(2) 研究開発の実施体制

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。

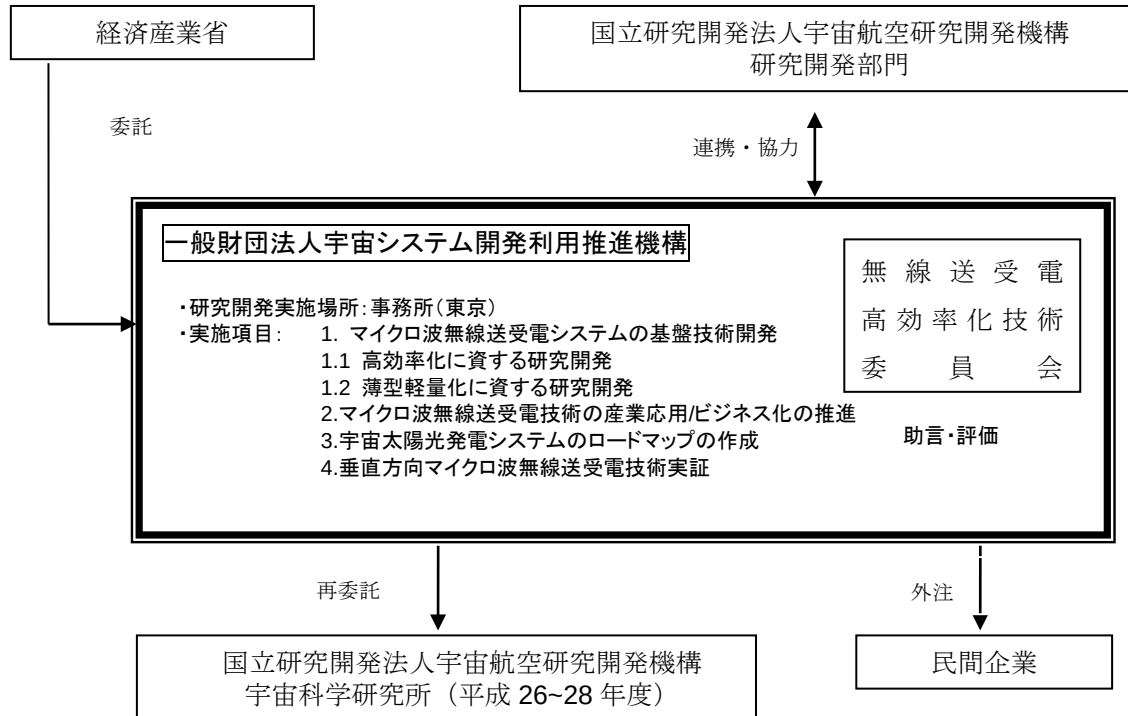


図 5-1 研究開発実施体制

（３）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

マイクロ波無線送受電技術が広く知られ、社会的に認知されること、マイクロ波無線送受電技術を用いたビジネス化を促進することを目的とし、各種展示会への出展を行った。また、マイクロ波無線送受電技術の早期の事業化に向けた情報等交換・交流機会の提供を目的として、将来のビジネス化を目指す企業と専門家、行政機関等による研究会を開催した。

①展示会

〔平成 28 年度〕

- ・ CEATEC JAPAN 2016
 - （日程）平成 28 年 10 月 4 日～7 日
 - （会場）幕張メッセ
 - （ブース来場者数）4 日間計 428 名
- ・ IoT Japan 2016
 - （日程）平成 28 年 10 月 19 日～21 日
 - （会場）東京ビッグサイト
 - （ブース来場者数）3 日間計 354 名
- ・ マイクロウェーブ展（MWE 2016）
 - （日程）平成 28 年 11 月 30 日～12 月 2 日
 - （会場）パシフィコ横浜
 - （ブース来場者数）3 日間計 373 名

〔平成 29 年度〕

- ・ センサエキスポジャパン 2017
（日程）平成 29 年 9 月 13 日～15 日
（会場）東京ビッグサイト
（ブース来場者数）382 名
- ・ CEATEC JAPAN 2017
（日程）平成 29 年 10 月 3 日～6 日
（会場）幕張メッセ
（ブース来場者数）580 名
- ・ IoT Japan 2017
（日程）平成 29 年 10 月 11 日～13 日
（会場）東京ビッグサイト
（ブース来場者数）337 名

②マイクロ波無線送電技術ビジネス化研究会

〔平成 28 年度〕

- ・ 第 1 回
（日程）平成 28 年 8 月 25 日
（内容）
 - ・ マイクロ波送電の技術と課題（京都大学）
 - ・ ワイヤレスシステムによる工場内配線の簡素化や断線リスクの解消（オムロン(株)）
 - ・ チューブ導波管による高重量・複雑な自動車内のワイヤーハーネス削減（古野電気(株)）
 - ・ ドローンを活用した山岳災害救助支援システム（(株)オリエントマイクロウェーブ）
 - ・ マイクロ波共振器を用いた照明やテレビへ無線送電（宇部興産(株)）（参加人数）54 名
- ・ 第 2 回
（日程）平成 28 年 9 月 26 日
（内容）
 - ・ ワイヤレス電力伝送に関する動向と I T U における検討状況（(株)ドコモCS）
 - ・ エネルギーハーベスティング＋無線給電による防災モニタリング（(株)NTT データ経営研究所）
 - ・ マイクロ波送電技術の産業利用への取組み（三菱電機(株)）
 - ・ ワイヤレス電力伝送による火山観測（京都大学防災研究所火山活動研究センター）
 - ・ 無線電力伝送による斜面の土砂災害モニタリング（応用地質(株)）
 - ・ ワイヤレス電力伝送による斜面変位監視システム（(株)リプロ）（参加人数）53 名
- ・ 第 3 回
（日程）平成 28 年 12 月 1 日
（内容）
 - ・ 次世代交通・運輸システムを支えるワイヤレス給電技術（京都大学）
 - ・ 電池レスセンサーを使用した遭難者救急支援システム（(株)翔エンジニアリング）
 - ・ 無線送電システムによる電動自転車等の充電（三菱重工業(株)）
 - ・ 介護ロボット、バッテリーレスセンサーへの無線給電（パナソニック(株)）（参加人数）69 名
- ・ 第 4 回
（日程）平成 29 年 1 月 13 日
（内容）
 - ・ ブロードバンドワイヤレスフォーラムにおけるワイヤレス電力伝送に関する取組（(株)東芝）
 - ・ 無線センサへの無線給電によるインフラモニタリング（(株)共和電業）（参加人数）78 名
- ・ 第 5 回
（日程）平成 29 年 3 月 14 日

(内容)

- ・ 電話利用からみたマイクロ波送電の研究課題 ((株)三菱総合研究所)
- ・ 電磁波と健康～国際的評価と動向～ (京都大学)

(参加人数) 53 名

[平成 29 年度]

・ 第 1 回

(日程) 平成 29 年 6 月 28 日

(内容)

- ・ パワー半導体を用いたマイクロ波加熱 (上智大学)
- ・ IoT 機器への無線電力伝送に対する取り組み紹介 (東京大学)

(参加人数) 75 名

・ 第 2 回

(日程) 平成 29 年 9 月 25 日

(内容)

- ・ 先端インフラセンシングとエネルギーハーベスティング (京都大学)
- ・ 大電力ワイヤレス給電システムの動向と課題 (早稲田大学)
- ・ テスラシート社が目指すマイクロ波送電ビジネス展開 (テスラシート(株))

(参加人数) 69 名

・ 第 3 回

(日程) 平成 29 年 11 月 2 日

(内容)

- ・ 漏洩電磁波の低減を目指したワイヤレス電力情報伝送技術の開発 (豊橋技術科学大学)
- ・ パッシブ RFID を利用したコンクリート構造物診断技術 (太平洋セメント(株))
- ・ ワイヤレス給電技術実用化に向けた取り組み ((株)UL Japan)

(参加人数) 70 名

・ 第 4 回

(日程) 平成 30 年 1 月 16 日

(内容)

- ・ エネルギーハーベスト技術とその実用化に向けた取り組み (大阪大学)
- ・ ワイヤレス給電機器からの漏えい電磁界に関する評価・解析 ((株)パナソニックシステムネットワークス開発研究所)

(参加人数) 57 名

・ 第 5 回

(日程) 平成 30 年 2 月 16 日

(内容)

- ・ マイクロ波によるセンサ給電システム (パナソニック(株))
- ・ 電波干渉制御技術について (三菱重工業(株))
- ・ 自走ロボットとテスラシート給電を用いた配送システムにおける実証実験 (テスラシート(株))

(参加人数) 63 名

(4) 資金配分

年度ごとの資金配分を表 5-2 資金配分表に示す。

表 5-2 資金配分表

(単位：百万円)

	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	合計
マイクロ波無線送受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	87	119	121	327
②薄型軽量化に資する研究開発	151	113	0	264
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	3	10	19	32
宇宙太陽光発電システムのロードマップの作成	7	7	0	14
垂直方向マイクロ波無線送受電技術実証	0	0	109	109
合計	248	249	249	746

(5) 社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応

本事業計画当初と比較して、家電等へのワイヤレス給電に対する期待が高まっている。米国 Energous 社が開発している「WattUp」や米国 Ossia が開発している「Cota」等は、マイクロ波無線送受電技術を用いた機器であり、実用化に近づいている。一方で、わが国では実現可能性のあるビジネスモデルが構築できておらず、事業化の動きは停滞している。このため、マイクロ波無線送受電技術のビジネス化の推進を目的とし、平成 28 年度からは(3)に示したように展示会への出展及び「マイクロ波無線送電技術ビジネス化研究会」の開催を行っている。

6. 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、エネルギーを安定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、送電部も達成を見込んでおり (今年度中に測定)、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、薄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、HySIC 技術については、通信機器等での活用も可能である。このため、マイクロ波無線送電に関しての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。

（参考１）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

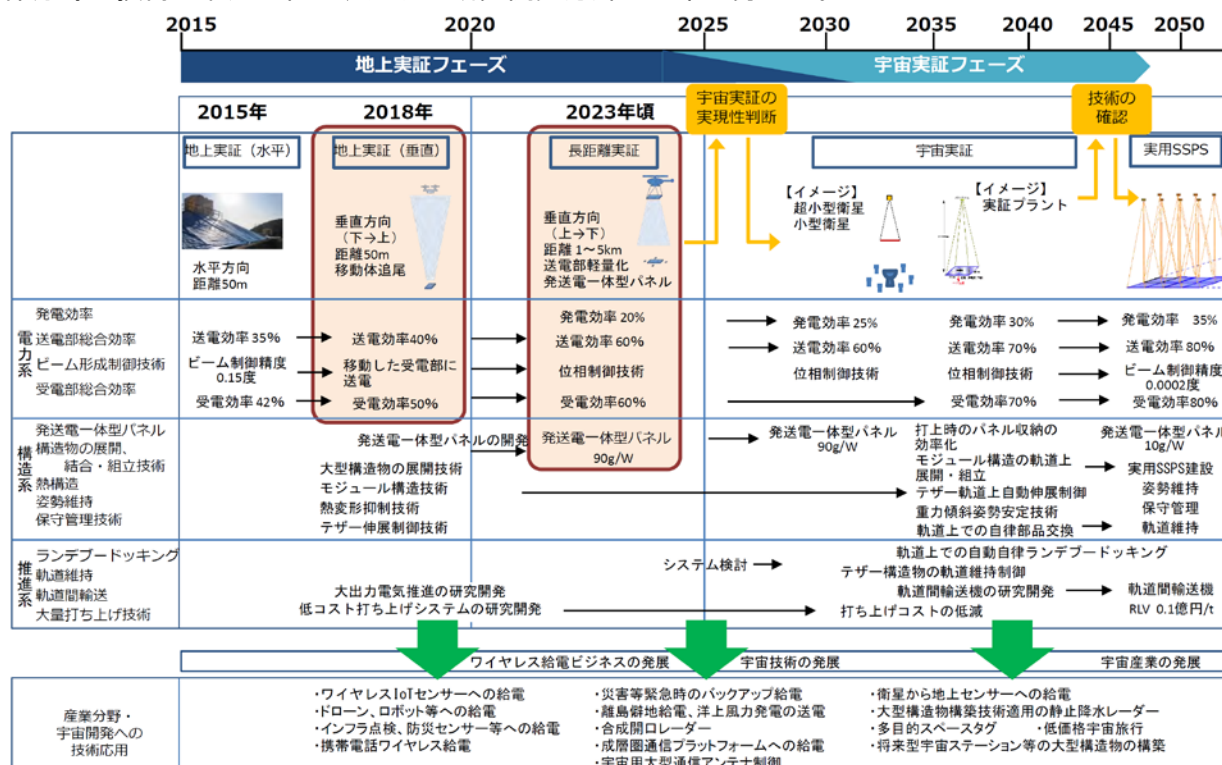
本事業で研究開発する最先端の基盤技術について、宇宙太陽光発電システム以外での応用の可能性について調査、分析及び潜在的な利用者に対する利用促進を実施した。

マイクロ波無線送受電技術が広く知られ、社会的に認知されること、マイクロ波無線送受電技術を用いたビジネス化を促進することを目的とし、各種展示会への出展を行った。また、マイクロ波無線送受電技術の早期の事業化を目的として、将来のビジネス化を目指す企業と専門家、行政機関等による研究会を開催し、具体的なビジネスモデル構築に向けて、必要に応じて実証も行いながら、メリットを明確化し、課題の解決策について検討した。また、マイクロ波無線送受電技術のビジネス化の推進にあたり必要となる技術として、無線通信との干渉回避のための干渉制御技術について要素研究について検討し、制御装置試作を行った。

（参考２）宇宙太陽光発電システムの研究開発ロードマップの作成

宇宙太陽光発電システムの実用化へ向けたマイクロ波無線送受電技術等の研究開発に係るロードマップは、策定した平成 19 年度から長期間が経過していることから現状を踏まえた改訂を実施することとした。

宇宙太陽光発電システムの実用化へ向けた効率的かつ効果的な実施計画を構築するために、マイクロ波無線送受電技術を基盤とする研究開発に係るロードマップを作成した。本ロードマップの作成を通じ、現時点での技術レベルを調査し、想定される将来の技術進展を踏まえ、今後実施すべき研究開発の内容及び目標を明確化した。ロードマップ等の策定にあたっては、無線送受電高効率化技術委員会の下に専門委員会を設けるとともに、関係分野の研究者等から広く意見を伺うなどにより、宇宙太陽光システムの実現に向けた研究開発が最も効果的に進められるよう、我が国が有する関係分野の技術の活用も含め、適切な研究開発方針の立案に努めた。



（参考３）垂直方向マイクロ波無線送受電技術実証（平成 30 年度）

屋外の地面反射の影響のない環境での垂直方向（下から上方向）でのレトロディレクティブ方式による精度の高いビーム方向制御技術、垂直方向へのマイクロ波送電における適切なビーム形成技術を、計測センサ等を搭載したマルチコプタを使用して実証する。マルチコプタを移動させた後、パイロット信号を受けて移動後の位置を特定し、その方向に送電するビーム方向制御技術の実証を行う。また、受電部を搭載したマルチコプタへのマイクロ波による無線送電により、電力として取り出せることを確認する。平成 29 年度には、システム検討を行い、試験計画を策定した。

Ⅱ. 外部有識者（評価検討会等）の評価

1. 総合評価

宇宙太陽光発電システムは、将来のエネルギーの選択肢の一つであり、本技術の確立は将来の安定電源の確保のために、非常に重要である。

本プロジェクトは、将来の宇宙太陽光発電を実現する上で必要となる要素技術に関する研究であり、論文等の学術的成果も多く、技術の達成度としては高く評価できる。また、重要な要素技術の研究開発について、費用対効果の面でも妥当である。基盤技術開発の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。

一方で、アウトプット指標・目標値の設定がどの様にして設定されたのかが理解しづらいところがあり、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どを、具体的に分かり易く示すことも必要。

また、宇宙太陽光発電全体の実現に向けた戦略を同時に考えていく必要があり、そのためのロードマップを明快にし、その中で本プロジェクトの位置づけを明確にしていくことが、研究開発を推進する上で重要と考える。また、派生的な利用などについても積極的に提示していくことも重要と考える。

【肯定的所見】

- ・（A委員）マイクロ波無線によるエネルギー送受信の技術開発の必要性は理解できる。
- ・（B委員）将来の宇宙太陽光発電を実現する上で必要となる要素技術に関する研究であり、論文等の学術的成果も多く、技術の達成度としては高く評価できる。
- ・（C委員）将来のエネルギーを考えた時、宇宙太陽光発電システムは、一つの選択肢である。しかしながら、まだ基礎研究レベルであるため、国が研究開発を進めるのは妥当である。また、その中で、重要な要素技術について、研究開発を進めるのは、費用対効果の面からも妥当であると言える。
- ・（D委員）着実に事業アウトプットの目標を達成している。
- ・（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。

基盤技術開発の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。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A委員）しかし、宇宙実証フェーズと地上実証フェーズの「アウトプット及びアウトカム」を切り分けて、プロジェクトを設計し直すことが望ましいと考える。ドローンやヘリコプターが宇宙産業の下支えになるのであれば、地上実証と宇宙実証の「繋ぎ手」を育成し支援する「ファストピッチ」を J-spacesystems の中に設置するのが望ましい。
- ・（B委員）宇宙太陽光発電全体の実現に向けた戦略を同時に考えていく必要性を感じる。そのためのロードマップを明快にし、本研究開発のその中での位置づけを明確にしていくことは、研究開発を推進する上で重要と考える。また、派生的な利用などについても積極的に提示していくことも重要かと考える。
- ・（E委員）アウトプット指標・目標値の設定がどの様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どを、具体的に分かり易く示すことも必要。

例えば、研究開発期間内の開発ロードマップと共に示していくなど。

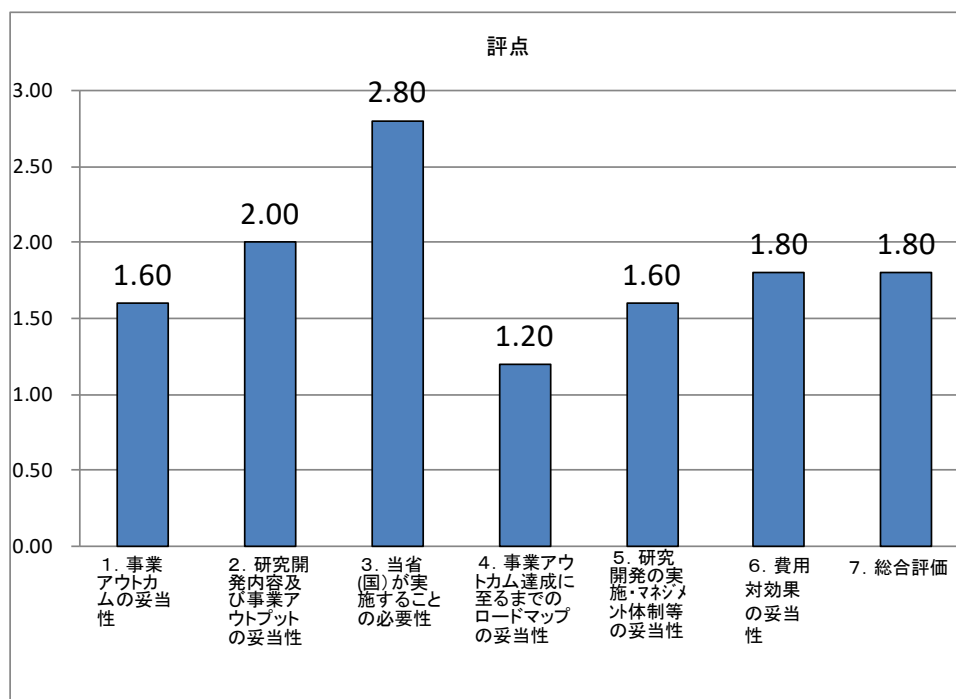
研究開発機関に JAXA が入っている以上、開発成果は特許や論文等の数でも示していくべき。

Ⅲ. 評点法による評価結果

評点法による評点結果

(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))

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業アウトカムの妥当性	1.60	1	1	1	2	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.00	2	2	2	2	2
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.80	2	3	3	3	3
4. 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	1.20	1	1	1	1	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	1.60	1	2	2	1	2
6. 費用対効果の妥当性	1.80	2	2	2	1	2
7. 総合評価	1.80	1	2	2	2	2



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～ 6.

- 3点：非常に重要又は非常に良い
- 2点：重要又は良い
- 1点：概ね妥当
- 0点：妥当でない

評価項目 7. 総合評価

(中間評価の場合)

- 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。

第3章 今後の研究開発の方向等に関する提言

3-1. 複数課題プログラム

今後の研究開発の方向等に関する提言

近年、宇宙旅行や月・火星開発、宇宙ゴミの除去などの、新しい宇宙の利用形態や宇宙関連産業の潮流や、民間投資などの新しい宇宙開発の構造の変化など、宇宙開発は大きな変革期にある。こうした中で、これまで宇宙と直接関係のなかった広範な地上技術の宇宙開発への適切な誘導、地上技術の活用と早期の軌道上実証、新たな宇宙産業を賦活するための仕組み作りなど、国の果たすべき役割は大きく、柔軟で、幅の広い宇宙産業施策に期待したい。また、こうした変革の時代に、産・官・学が効果的に連携していくことは、可能性を多様にし、効果的であると期待される。その意味で、学を効果的に活用する仕組みについて拡充すると良いと思われる。さらに、こうした宇宙開発の広がりに対応するため、リソース全体を拡充する努力を期待する。

今後新たに始める事業は、変化の早い宇宙産業を取り巻く状況を考えて、ロケットや衛星データ利用と同様に、人工衛星分野でも、現状を踏まえた新しい活動が必要である。近年は、コンステレーション化が急速に進んでいるため、競争力を持ったコンステレーションに関する研究開発を行うことが必要である。また、利用者視点での最新テクノロジー（ビッグデータ、AI）を活用した宇宙産業に関する研究開発を強化する必要がある。研究の進め方については、体制は、大手企業だけでなく、様々な実施主体が取り組む体制が必要である。アウトカム・アウトプットは、必ずベンチマークを定期的に行い、その結果によっては、柔軟に研究開発の方向性を変える必要がある。そのためにも、長期にわたる研究開発よりも、短期間（3年程度）で終了する研究開発をどんどん立ち上げていくことで、変化が早い時代にあった研究開発を実施することが可能となる。

各研究開発課題（プロジェクト）の中で、事業アウトプットは、国際比較や事業開始前後での弱みや強みの変化を比較するといった視点が必要である。宇宙産業の役割は多様化しつつあるため、事業アウトカムの体系図を早急に整理することが望ましい。

宇宙産業における新たなイノベーションの創出には、組織の目標達成に必要な能力の構築・向上といった観点から、従来の研究開発の実施体制に加えて、ユーザー側が新たなアイデアを創出できる場を構築していくことが必要である。

宇宙産業振興の中で、民間企業による発展途上国に向けた宇宙機器・宇宙利用を含めたパッケージ型の販売を目指した技術開発を経済産業省が支援しているが、ここから一歩進んでスピードを上げるためには、予想される一般的なニーズに応えるための技術開発でなく、契約に基づいた具体的なニーズに応えるための技術開発に対して経済産業省が支援するのが望ましい。

宇宙産業プログラムを構成する各研究開発課題（プロジェクト）の中には、取りまとめをしている受託者の顔が見えてこない案件も見受けられるため、取りまとめを行っている受託者の必然性を明確化すべきである。

【各委員の提言】

- ・（A委員）研究開発の方向に関する提言は、下記の三点である。
 - 1) 事業アウトプットは、国際比較の視点が必要である。また、事業の事前事後に関わる「弱み」「強み」比較の視点が必要である。宇宙産業の戦略指標を策定することを期待する。
 - 2) 宇宙産業の役割は多様化しつつある。その多様化の出口方向を構図（アウトカム体系を構図）するための基礎調査を早急に開始することが望ましい。
 - 3) 宇宙産業によるイノベーションを実現するには、「技術インベンションの連鎖」と「価値実現の場を形成する組織機能」が必要になる。まずは、専門人材によるキャパシティビルディングのワーキンググループを編成することが望ましい。
- ・（B委員）近年、宇宙旅行や月・火星開発、宇宙ゴミの除去などの、新しい宇宙の利用形態や宇宙関連産業の潮流や、民間投資などの新しい宇宙開発の構造の変化など、宇宙開発は大きな変革期にあると思われる。そうした中で、これまで宇宙と直接関係のなかった広範な地上技術の宇宙開発への適切な誘導、地上技術の活用と早期の軌道上実証、新たな宇宙産業を賦活するための仕組み作り、など国特に経済産業省の果たすべき役割は大きいと思われる。このような世界全体での宇宙開発の変化に対応して、これまでの宇宙開発にとらわれない、柔軟で、幅の広い宇宙産業施策に期待したい。またこうした変革の時代に、産・官・学が効果的に連携していくことは、可能性を多様にし、効果的であると期待される。その意味で、学を効果的に活用する仕組みについて拡充すると良いのではないかとと思われる。さらに、こうした宇宙開発の広がりに対応する

ための、リソース全体を拡充する努力を是非期待したい。

- ・（Ｃ委員）これから始める事業は、この新しい状況を捉え行くとともに、変化の早い宇宙産業を取り巻く状況を考えて、以下を実施する必要がある。

【研究対象】

対象として、ロケット、衛星データ利用については、新しい状況を踏まえたものがはじまっているので、あとは人工衛星分野において、現状を踏まえた新しい活動が必要である。世の中は、コンステレーション化が急速に進んでいるため、単なるコンステレーションではなく、競争力を持ったコンステレーションに関する研究開発をおこなうことが必要である。

また、上記は、利用者視点で最新テクノロジー（ビッグデータ、AI）を活用した宇宙産業化に関する研究開発を強化する必要がある。

【研究の進め方】

研究の進め方として、体制、アウトカム/アウトプット計画については、以下を考える必要がある。

体制としては、大手だけでなく、ベンチャー、さらにはベンチャーと大手の共同を進めることが必要である。アウトカム/アウトプット計画においては、必ずベンチマークを定期的に行うとともに、その結果によっては、柔軟に研究開発の方向性を変える必要がある。そのためにも、長期にわたる研究開発よりも、短期間（３年程度）で終了する研究開発をどんどん立ちあげていくことのほうが、変化が早い時代にあった研究開発を実施することが可能となる。

- ・（Ｄ委員）宇宙太陽光発電の開発において、無線送受電の効率化という部分的な技術開発にとどまらず、宇宙太陽光発電の実現に向けて全体のロードマップを明確にし、経産省が総力を挙げて取り組んでもらいたい。この課題は、日本の宇宙産業の発展という目標を超えた、全人類にとって便益の大きい課題だからである。

宇宙産業を振興させる方法の一つとして、民間企業による途上国に向けた宇宙機器・宇宙利用を含めたパッケージ型の販売を目指した技術開発を経産省がサポートしている。一歩進んで、日本の宇宙産業の振興のスピードを上げるために、経産省の委託事業として途上国向けのパッケージ販売を行うことを提案する。すなわち、予想される一般的なニーズに応えるための技術開発ではなく、契約に基づいた具体的なニーズに応えるための具体的な技術開発に対して経産省がサポートするというアイデアである。

- ・（Ｅ委員）複数課題の実施については、一つの成果に向けて多数の課題の解決が必要であり、今後とも継続実施が必要である。

しかしながら、取りまとめをしている受託者の顔が見えてこない案件も見受けられる。受託者が何故その受託案件について取り纏めを行っているのか、その必然性を説明するべきであると考えられる。

＜上記提言に係る担当課の対処方針＞

経済産業省では現在、大学や産業界と連携し、衛星データ活用スキル習得機会の拡大や宇宙関連人材のマッチング支援等を通じた人的基盤強化に向けて取り組んでいるところ。引き続き、宇宙関連産業の競争力強化に向け、様々な観点から産・官・学の連携に取り組んでまいりたい。

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）では、最新の技術開発動向を踏まえたロケット・衛星のコンポーネントの開発を提案公募型により支援している。また、平成３０年度から実施している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、衛星データを利用しやすいプラットフォームを整備し、ビッグデータやAI等の技術を活用した新たな宇宙ビジネス創出を図っており、これらの事業を通じ、宇宙産業の活性化を図ってまいりたい。

各プロジェクトの事業アウトプットや事業アウトカムについては、国内外の市場動向等を踏まえて、適切に見直しを行ってまいりたい。

研究開発の実施体制・期間については、例えば、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）では、中小の部品メーカーと大学、ベンチャー企業の協力や、ベンチャー企業と大企業の協力といった新たな取組が生まれるよう支援を行っていく。また、技術開発のスピードが加速していることを踏まえ、最新の技術開発動向を把握した上で、より効果的・効率的なプログラムの実施を行ってまいりたい。

なお、多くの事業者が関わるような一部のプロジェクトでは、より効率的に事業を進める観点か

ら専門的知見を有する者がプロジェクト全体の進捗管理を行っているが、こうした体制の妥当性については今後も適切なタイミングで評価を行い、必要な見直しを行ってまいりたい。

3-2. 研究開発課題

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

今後の研究開発の方向等に関する提言

本プロジェクトは、開発した ASTER/PALSAR が石油資源探査のみならず、他の多くの利用に役立つことが実証され、優れた産業応用を確立しつつある点は非常に高く評価でき、35 年間の全実施期間を通じて日本の衛星リモートセンシングに大きく貢献し、目標は十分に達成できたと考えられる。今後は、本プロジェクトで得られたノウハウを、今後の日本のリモートセンシングの発展に生かすことが重要。

宇宙からのリモートセンシングの効果的な活用事例として、効果的に広報することで宇宙開発全体を活性化させる効果が期待できる。

なお、「事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ」では、事業終了後の 3 年間の間に「ニーズ調査」が入っているが、世界最先端の動向とニーズ・市場調査は常に調査を行っていく必要があると考える。

【各委員の提言】

- ・(A 委員) 地球サイズの衛星データの蓄積は膨大であることに鑑みると、国連 2030 アジェンダ、SDGs17 課題 169 ターゲット 232 ティアに貢献するプロジェクト設計を進めることが望ましい。
- ・(B 委員) 単にリモートセンシングに関する研究・開発にとどまらず、石油資源の遠隔探知技術として、優れた産業応用を確立しつつある点は非常に高く評価できる。宇宙からのリモートセンシングの効果的な活用事例として、効果的に広報することで、宇宙開発の効用を示す恒例となるはずで、宇宙開発全体を活性化させる効果が期待できる。
- ・(D 委員) JSS 担当の部分に関して、本プロジェクトは 35 年間の全実施期間を通じて日本のリモートセンシングに大きく貢献してきた。
石油資源探査のための衛星リモートセンシング技術の開発という本プロジェクトの目標は十分に達成できたと考えられる。本プロジェクトの遂行を通じて、開発した ASTER/PALSAR が石油資源探査のみならず他の多くの利用に役立つことが実証されてきた。本プロジェクトで得られた研究開発上のノウハウおよびプロジェクト推進のノウハウを今後の日本のリモートセンシングの発展に生かすことが重要であろう。社会に役立つ衛星リモートセンシング技術の内、どの部分が世界における日本の強みとして主張できるかの今後のプロジェクトの検討・計画を国、企業、大学が連携して行うことが望まれる。
- ・(E 委員) 「事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ」を見ると、本件終了後の次の 3 年間の間に「ニーズ調査」が入っているが、ここでニーズ調査をして位置精度向上検討をしているようでは、正直遅きに失しているのではないだろうか。常に世界最先端の動向とニーズ・市場調査は必要であり、複数課題プログラムを構成する一つのプログラムとして常時設置し、必要性能の検討を常に行っていく必要が有ると考える。

<上記提言に係る担当課の対処方針>

我が国リモートセンシングの更なる発展に向けて、引き続き、幅広い産業への活用を促す方針である。

現在、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において、ASTER/PALSAR を含む衛星リモートセンシングデータをユーザにとって使いやすくなるためのプラットフォームの整備を進めており、活用事例も併せてユーザの目に留まる機会を増やすことで、民間企業等による産業利用の更なる加速を図ってまいりたい。

また、引き続きデータ事業者と連携し、既存のユーザからの要望を踏まえたデータ提供の在り方について検討してまいりたい。

B. 次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発

今後の研究開発の方向等に関する提言

ハイパースペクトルセンサにより取得できるデータについて、これまで実績のある石油資源に加

えて、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋など様々な利用形態について利用拡大を図っている点が評価できる。

まずは、ハイパースペクトルセンサ（HISUI）を軌道上で運用し、高性能な情報が得られることを示していく事が重要であるが、今後の宇宙開発の方向性を考えると、小型衛星主体による運用（コンステレーション含む）等が主流の一つになっていくと考えられる。日本が当該領域をリードし続けられるよう、ニーズ・研究動向調査研究をしっかりと進めて頂く必要がある。

また、今後のハイパースペクトルデータの利用促進のためには、既に公開しているものを含め、本事業で実施した多分野での利用手法開発の結果を、一括して公開することが有用と考えられる。

宇宙開発を取り巻く環境が大きく変化し、高性能を目指して時間をかけるより、少し性能がおちてもいち早く宇宙で実証することが重要となってきた環境においては、長期にわたるプロジェクトは時代からのズレを感じざるを得ない。今後は、特に日本が強みを発揮すべき分野ほど、時間をかける研究と、早く実証する開発とを併用することで、世界に先んじて実証することで優位性を得ることも考慮するのが良い。今後、世界最高性能を目指すよりもスピードを重視することを念頭におくことで改善することが望ましい。

【各委員の提言】

- ・（A委員）石油資源、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋の7分野に関するユーザーベースの連携を構築することによって、その繋ぎ手のキャパシティビルディングを支援することが望ましい。
- ・（B委員）ハイパースペクトルセンサにより取得できるデータについて、これまで実績のある石油資源に加えて、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋など様々な利用形態について利用拡大を図っている点が評価できる。具体的な実現に向けて着実に発展していくことを期待したい。
- ・（C委員）宇宙開発を取り巻く環境が大きく変化し、高性能を目指して時間をかけるより、少し性能がおちてもいち早く宇宙で実証することが重要となってきた環境においては、長期にわたるプロジェクトは時代からのズレを感じざるを得ない。今後は、特に日本が強みを発揮すべき分野ほど、時間をかける研究と、早く実証する開発とを併用することで、世界に先んじて実証することで優位性を得ることも考慮するのが良い。今後、世界最高性能を目指すよりもスピードを重視することを念頭におくことで改善することが望ましい。
- ・（D委員）本事業で実施した多分野での利用手法開発の結果は、既に公開しているものを含め一括して公開することが今後のハイパースペクトルデータの利用促進のために有用と考えられる。
- ・（E委員）まずは、HISUI を軌道上で運用し、高性能な情報が得られることを示していく事が重要であるが、今後の宇宙開発の方向性を考えると、小型衛星主体による運用（コンステレーション含む）等が主流の一つになっていく。その上で、HISUI を基準センサとして、さらなる小型・軽量化・低コスト化への開発研究、つまり小型衛星に搭載できる大きさで HISUI と同性能のセンサへの開発も今後の開発の方向性への解の一つになるものと、評価者は考える。

また、単なる小型化でなくとも、コンステレーション運用による機能実現でも良いと思うが、日本が当該領域をリードし続けられるよう、ニーズ・研究動向調査研究をしっかりと進めて頂く必要がある。

＜上記提言に係る担当課の対処方針＞

軌道上での着実な実証とともに、時代のニーズ動向を踏まえた利用の促進につながるための取組みを進めていく方針である。

データ利用促進の観点では、現在、ハイパースペクトルデータを含む衛星リモートセンシングデータをユーザにとって使いやすくするための環境整備を進めており、活用事例も併せてユーザの目に留まる機会を増やすことで、民間企業等による産業利用の更なる加速を図ってまいりたい。

また、今後の宇宙開発プロジェクトの遂行にあたり、ユーザニーズを踏まえることは必要不可欠。その中でも、例えば、早期に実証してユーザニーズに応えていくケースと、高度な技術開発によって産業利用を開拓するケースがあると考えており、これらを両立して国としてプロジェクトを遂行していくことが重要と考えている。

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

今後の研究開発の方向等に関する提言

ISS 搭載ハイパースペクトルセンサの開発を進め、ISS での実証実験やデータの利活用に向けて着実にプロジェクトを進めており、高く評価することができる。

石油資源の遠隔探知をはじめとするリモートセンシングデータの利活用は、宇宙開発の効果的な活用の代表例として、広く成果を発信することが宇宙開発全体を発展させる効果があると考えられるため、積極的な情報発信を期待したい。

今は、ISS への搭載・運用に注力していくことが重要だが、一方で、引き続き継続する必要があるれば、ユーザー機関を見つけてその費用で継続することが望ましい。むしろ、現在の世の中の流れをみると、小型・低コスト化することで超小型コンステレーションに可能なセンサとし、より早く実証・実用・高性能化を繰り返せる仕組みを作り出すことが望ましい。

本プロジェクト終了後の事業アウトカムやロードマップは、単なる行動計画ではなく、中短期的な視点で PDCA サイクルを推進する仕組みを作っていくことが望ましい。

また、本プロジェクトの事業を進めていく中で、データ利用のユーザーとの連携を作ることで、ユーザーに適したデータ提供を目指して欲しい。

【各委員の提言】

- ・（A 委員）事業終了後のアウトカム・ロードマップに記載された構想は、単なるガイドライン的な行動計画ではなく、プロジェクトの中で検討すべき合意課題（アジェンダ）として取り扱われるべきであろう。それゆえ、中短期の PDCA を推進するプラットフォームを構築することが望ましい。
- ・（B 委員）ISS 搭載ハイパースペクトルセンサの開発を進め、ISS での実証実験並びにデータの利活用に向けて着実にプロジェクトを進めており、高く評価することが出来る。
石油資源の遠隔探知をはじめとするリモートセンシングデータの利活用は宇宙開発の効果的な活用の代表例として、広く成果発信をすることが宇宙開発全体を発展させる効果があると考えられ、是非積極的な情報発信を期待したい。
- ・（C 委員）継続化をする必要があるれば、ユーザー機関を見つけ、その費用で継続することが望ましい。むしろ、現在の世の中の流れをみると、これを商用化、つまり小型・低コスト化することで超小型コンステレーションに可能なセンサとし、より早く実証・実用・高性能化を繰り返せることが可能な仕組みを作り出すことが日本の強みにすることにつながる。
- ・（D 委員）事業化構想の中で、末端ユーザのデータ利用の展開の部分に未知数が多いと見られる。事業者の資料に書かれているように、データ利用ユーザとの連携を作ることにより、利用に適したデータ提供の事業を目指していただきたい。
- ・（E 委員）今は、ISS への搭載、運用に注力頂きたい。

＜上記提言に係る担当課の対処方針＞

ユーザによるデータ利用の促進と情報発信の観点では、現在、ハイパースペクトルデータを含む衛星リモートセンシングデータをユーザにとって使いやすくするための環境整備を進めており、活用事例も併せてユーザの目に留まる機会を増やすことで、民間企業等による産業利用の加速を図ってまいりたい。

引き続き、有識者により構成された研究開発技術委員会の助言・評価を得て適切に PDCA を回しつつ、軌道上での着実な実証を進め、並行して、時代の流れ（ニーズ）に即した宇宙開発を見据えてプロジェクトを進めていく方針である。

D. 超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発

今後の研究開発の方向等に関する提言

超高分解能合成開口レーダの開発を着実に進めるとともに、小型衛星 ASHARO-2 の開発を達成、軌道投入を実現し、機能性能の実証を実現しつつある点は高く評価できる。

本プロジェクトでの開発成果を活用して、小型観測衛星システムパッケージとして商用展開を検討している点は非常に重要で、高く評価できるが、世界的な動向を踏まえて、より積極的にスピードアップを図ることが期待される。

単なるデータ提供に終わらず、社会に役立つデータ利用と連結させていくことが重要であり、開発した SAR データが社会で十分に利用されるために他のデータ利用推進者と連携していくことが望まれる。

また、今後の事業展開に向けて、新興国向けの衛星開発や衛星運用・画像利用事業を通じた新規

市場開拓が重要である。

【各委員の提言】

- ・(A委員) 宇宙二法に基づく宇宙産業の推進役となるプログラムの一翼を担っているのであるから、高性能小型合成開口レーダー・システムが成し得る可能性について、販促用パンフレットに記載できる範囲を示しつつ、新興国向け衛星開発や JEOS 事業の新規市場を開拓することを望む。
- ・(B委員) 超高分解能合成開口レーダーの開発を着実に進めるとともに、小型衛星 ASNARO-2 の開発を達成、軌道投入を実現し、機能性能の実証を実現しつつある点は高く評価できる。本プロジェクトでの開発成果を活用して、小型観測衛星システムパッケージとして商用展開を検討している点は非常に重要で、高く評価できるが、世界的な動向を踏まえて、より積極的にスピードアップを図ることが期待される。
- ・(C委員) 現在の世の中の流れをみると、センサを商用化、つまり小型・低コスト化することで超小型コンステレーションに可能なセンサとし、より早く実証・実用・高性能化を繰り返し替えることが可能な仕組みを作り出すことが日本の強みにすることにつながる。
- ・(D委員) リアルタイム性・付加価値サービスの事業において、単なるデータ提供に終わらず社会に役立つデータ利用と連結させることが重要である。開発した SAR データが社会で十分に利用されるためにデータ利用の推進を計画に含めるかあるいは他のデータ利用の推進者と連携することが望まれる。
- ・(E委員) 超高分解能合成開口レーダーの小型化技術の研究開発の開発自体は今回である程度目途が付いてると考える。今後は如何に受注を受け、事業展開をしていくかが重要となる。その点について、ODA や円借款などの他省庁施策も活用し、まずは数を出すことが必要と考える。

＜上記提言に係る担当課の対応方針＞

小型衛星システムパッケージとして、新興国を対象に商用展開を目指しており、引き続き、事業者と協力して、取り組むとともに、衛星運用や画像利用というソフト面の支援も検討してまいりたい。

ASNARO2 の衛星データについては、多くのユーザに利用してもらうべく、現在整備を進めている衛星データプラットフォームとの連携を図る方向で検討を進めているところ。

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）

今後の研究開発の方向等に関する提言

軌道上で重要となる機器や、民生技術を効果的に活用した宇宙開発の試みなど、近年の宇宙開発において非常に重要な研究開発を先導的に実現している点は非常に評価できる。世界的にみると、実利用・商品化については非常にスピード感を持って取り組む必要があり、開発の達成までではなく、様々なミッションでの活用まで含めて積極的に推進されることを期待する。大学等との協力関係もより積極的に展開されると良いと考える。

また、1社に全てを任せるのではなく、複数組織に発注し、進めることはプログラムマネジメント的に正しい。これから立ち上がるプロジェクトも、同様の形態で実施するのが良い。本プロジェクトは、複数の異なる実施主体であったが、例えば、ベンチャー企業と大手企業の連合を作るプログラムも試すのが良い。

一方で、部品・コンポーネントの開発において、軌道上実証の機会が少ないため、独自の軌道上実証への展開も視野に入れて、宇宙産業振興の加速させる機会を提供して欲しい。そのためには、現在実施されている地上試験と軌道上実証の必要性を明確に示し、広く理解を得ていく必要がある。

【各委員の提言】

- ・(A委員) まずは、J-spacesystems の戦略機能の強化を円滑に進めるための予算を確保すべきであろう。
- ・(B委員) 軌道上において重要となる機器や、民生技術を効果的に活用した宇宙開発の試みなど、近年の宇宙開発において非常に重要な研究開発を先導的に実現している点は非常に評価できる。世界的にみると、実利用・商品化については非常にスピード感を持って取り組む必要があり、開発の達成までではなく、様々なミッションでの活用まで含めて積極的に推進されることを期待する。大学等との協力関係もより積極的に展開されると良いと思われる。

- ・(C委員) 1社に全てを任せるのではなく、複数組織に発注し、進めることはプログラムマネジメント的に正しい。これから立ち上がるプロジェクトも、同様の形態で実施するのが良い。また、今回は、大手連合とベンチャーの2つの形態であったが、ベンチャーと大手の連合を作るプログラムも試すのが良い。海外では、AirbusがOneWebと組むなどして、大手がベンチャーを支援して大きく育つことが起きている。米国でも、ベンチャーの開発したCubeSatを大手企業が量産するなどが行われている。
- ・(D委員) 宇宙産業の国内・国際的な変化に対応してきているところは評価できる。今後も変化に対応できる体制を維持してもらいたい。
- ・(E委員) 部品のライフサイクルは昨今短くなってきているため、どこまで実証機会を提供し、実施していくのかを検証していく必要があるが、軌道上実証の機会が少ないと考えている。
昨今の予算の効率執行の観点から、国の行う実証事業は、革新的小型衛星実証プログラムに集約されつつあるが、それのみにとらわれずに、独自の軌道上実証への展開も視野に入れて、宇宙産業振興の加速させる機会提供をお願いしたい。
そのためには現在実施されている地上試験の必要性和軌道上実証とその必要性を明確に示し、広く理解を得ていく、ある種の「広報活動」的なものも含めて検討すべきである。

＜上記提言に係る担当課の対処方針＞

民生品等を活用した価格競争力のある人工衛星や小型衛星用ロケットシステムの開発に向けて、これまでも大学等と連携しながら進めており、引き続き、大学等からの必要な協力のもと、開発成果が速やかに衛星の製造・開発及びロケット打上げビジネスで活用されるよう取り組んでまいりたい。

小型衛星用ロケットシステムの開発及び小型衛星の部品・コンポーネント開発ともに、公募及び外部有識者の審査により委託・補助先を決定しており、引き続き、適正な手続きを経て、より効果的に事業を実施してまいりたい。

部品・コンポーネントの開発後、速やかに市場投入が可能となるよう、軌道上実証の支援を平成31年度から行う方針であり、その事業の中で、中小の部品メーカーと大学、ベンチャー企業の協力や、ベンチャー企業と大企業の協力といった新たな取組みが生まれるよう、支援をしてまいりたい。

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

今後の研究開発の方向等に関する提言

宇宙太陽光発電の開発については、日本の宇宙産業の発展という目標を超えた、全人類にとって便益の大きい課題であることから、無線送受電の効率化という部分的な技術開発にとどまらず、宇宙太陽光発電の実現に向けて全体のロードマップを明確にし、経済産業省が総力を挙げて取り組んで貰いたい。

本プロジェクトが将来の宇宙太陽光発電へ向けた要素技術に関するものという位置づけは理解でき、関連して多くの技術的・学術的な成果を上げている点は高く評価できる。一方で、宇宙太陽光発電そのものを実現させるため、本プロジェクト以外の他の部分の研究開発との情報交換を継続し、本プロジェクトの定量的な目標を明確にしていく必要がある。

また、送電関連だけでなくそれを支える高電圧や絶縁などの基盤技術、宇宙・地球などの電波伝送経路にあたる空間の環境との相互作用、生体への影響なども含めて研究開発を進めていき、宇宙太陽光発電を社会インフラとして進めていける基盤を育てていく必要がある。

このほか、先の長い研究開発では、他分野における研究開発が役立つことも多いので、より幅広く他の研究分野と情報交換を行いながら、進めることが重要である。

【各委員の提言】

- ・(A委員) 米国の研究開発機関では、「ファストピッチ」を設置するケースが増えている。シリコンバレーのピッチコンテストのイベント型でなくとも、DARPAのVTOL-Xなどのチャレンジ実験プロジェクトを参考にするのも良いだろう。ただし、その場合、プロジェクトの開発コンセプトを明確に示すことが必須要件である。
- ・(B委員) 本研究開発は将来の宇宙太陽光発電へ向けた要素技術に関するものという位置づけは理解でき、関連して多くの技術的・学術的な成果を上げている点は高く評価できる。一方で、研究目的として宇宙太陽光発電を掲げているので、宇宙太陽光発電そのものの実現に向けたシナリオ

と合わせて議論する必要があると考えられる。その意味で、宇宙太陽光発電の実現に向けたロードマップを整理される必要を感じる。

- ・（C委員）先の長い研究開発では、他分野における研究開発が役立つことも多いので、より幅広く他の研究分野と情報交換をおこないながら、進めることが重要である。
- ・（D委員）送受電効率を向上させる現在のロードマップに従って研究開発を進めてもらいたい。
宇宙太陽光発電を実現させるための将来の大型総合プロジェクトを見据えて、本事業以外の他の部分の研究開発との情報交換を継続してもらいたい。これにより本事業の定量的な目標が明確になっていくと考えられる。
- ・（E委員）送電関連だけでなくそれを支える高電圧や絶縁などの基盤技術、宇宙・地球などの電波伝送経路にあたる空間の環境との相互作用、生体への影響なども含めて研究開発を進めていき、社会として進めていける土壌を育てていく必要がある。

＜上記提言に係る担当課の対処方針＞

宇宙太陽光発電システムについて、経済産業省では、2017年3月に策定した、定量的な目標を含む研究開発ロードマップに基づき、本プロジェクトを進めているところ。引き続き、宇宙太陽光発電に関するその他の研究開発との情報交換や連携を図るとともに、開発の進捗に応じて必要な定量的目標の見直しを行いながら、宇宙太陽光発電システムの実用化に向けて取り組んでまいりたい。

ご指摘の点は、宇宙太陽光発電システムの実現にあたっての重要な課題と認識しており、高電圧への対応技術や周囲の環境への影響等に関する研究開発は、今後の送受電関連技術の研究開発の進捗に応じて、適切な時期に実施を検討してまいりたい。また、宇宙太陽光発電システムの要素技術のビジネス化に向けて、様々な分野の企業や研究者が一堂に会する研究会を開催しており、そのような機会等を通じて、幅広く他の研究分野と情報交換を行ってまいりたい。

第4章 産業構造審議会評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等

4-1 宇宙産業分野における複数課題プログラム

評価ワーキンググループの所見【中間評価】

＜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ので、それに続くアウトカムの明確化とアウトカムの達成に向け道筋をつけて、宇宙産業を育成していただきたい。

＜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、コンステレーションに素早く対応していくための支援システムの構築が必要である。

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

・現在はハードウェアの利活用という位置づけであるが、今後、ビックデータの高精細、大容量を活用していく応用分野にもっと大きくフォーカスするプログラムの構成、内容に位置づけを見直す必要がある。

・今後、長期にわたる研究開発よりも、短期間で終了する研究開発をどんどん立ち上げていくという方向だが、テーマにより短期間よりある程度の長期で1本にまとめたほうが効率的な場合もあり、事業期間は慎重に考えていただきたい。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】

・各プロジェクトの事業アウトカムについては、国内外の市場動向等を踏まえながら、適切なタイミングで見直しを行い、アウトカムの実現に向け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。

・小型衛星コンステレーションビジネスの支援については、社会情勢を考慮しながら、国の支援のあり方を考えてまいりたい。

・サービス分野のアカデミアとの産学連携については、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。

・これまで宇宙機器の研究開発を重視してきたが、近年の衛星データの「質」・「量」の抜本的進展を背景に、第4次産業革命下におけるビックデータ政策の一環としてデータアプリケーションサービスの発展についても目標に加えたところ。

・研究開発の実施期間については、事業の特性を踏まえながら効率的かつ効果的に設定してまいりたい。今後は、宇宙利用産業の裾野を拡大していくことで、宇宙機器産業の新たな需要を増やしていき、宇宙産業全体の活性化を目指してまいりたい。

4-2 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）

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

評価ワーキンググループの所見【終了時評価】

＜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。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【終了時評価】

- ・ 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

評価ワーキンググループの所見【終了時評価】

（コメントなし）

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【終了時評価】

—

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

評価ワーキンググループの所見【中間評価】

＜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て様々な分野に応用することを追記するとともに、アウトカム達成に向けた検討をすること。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】

- ・ 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

評価ワーキンググループの所見【終了時評価】

＜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スポイントをできるだけ定量的に報告書に明記すること。

＜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。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【終了時評価】

- ・ 本事業におけるセールスポイントや知財の取扱いについて整理し、技術評価報告書に反映した。

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）

評価ワーキンググループの所見【中間評価】

＜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。
- ・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。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】

- ・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。
- ・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

評価ワーキンググループの所見【中間評価】

＜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。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】

- ・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。