

宇宙産業プログラムに関する 施策・事業評価の概要

平成28年3月23日

製造産業局

航空機武器宇宙産業課宇宙産業室

目 次

1. 技術に関する施策の概要
2. 技術に関する事業の概要(プロジェクト)
 - A. 小型化等による先進的宇宙システムの研究開発
 - B. 超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発
 - C. 小型衛星群等によるリアルタイム地球観測網システムの研究開発
 - D. 可搬統合型小型地上システムの研究開発
 - E. 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
 - F. 石油資源遠隔探知技術の研究開発
 - G. ハイパースペクトルセンサ等の研究開発
 - H. 次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発
 - I. 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>
 - J. 太陽光発電無線送受電技術の研究開発
 - K. 太陽光発電無線送受電高効率化の研究開発
 - L. 空中発射システムの研究開発

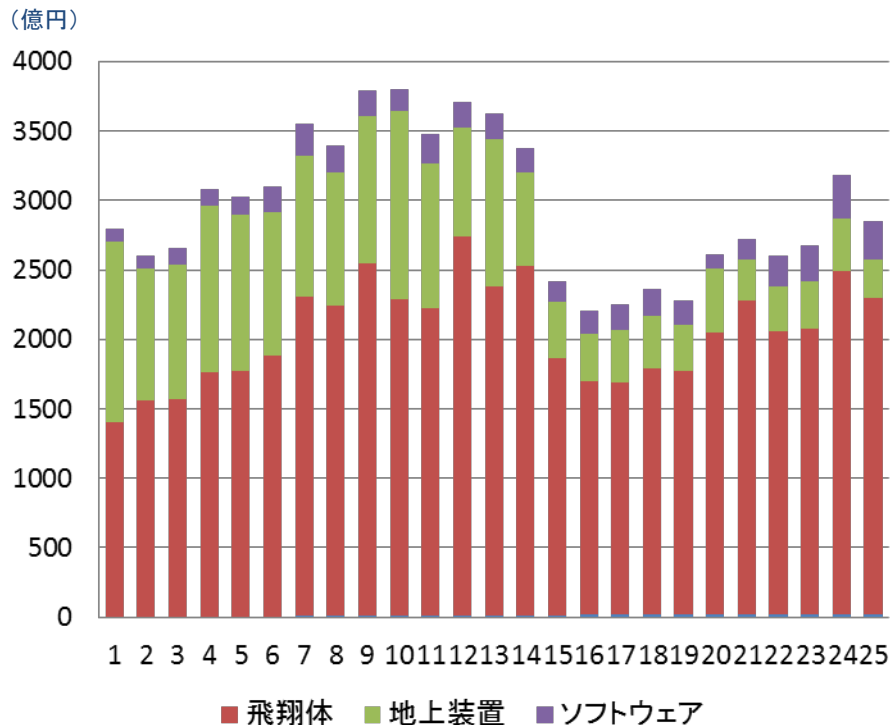
1. 技術に関する施策の概要

1.1. 施策の目的・政策的位置付け

我が国の宇宙機器産業の動向

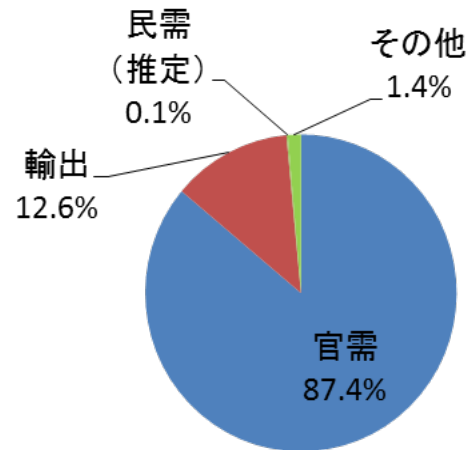
- 日本の宇宙機器製造産業の売上高は、近年漸増で推移。
- 政府からの需要に大きく依存している。

我が国の宇宙機器製造産業の売上げ推移

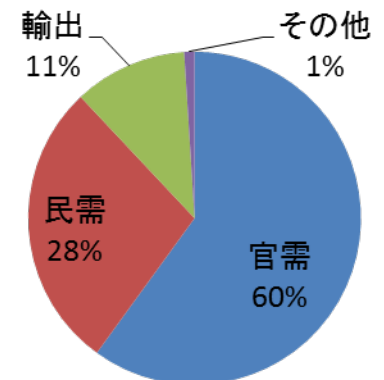


(一社)日本航空宇宙工業会 平成26年度宇宙産業データブック

宇宙機器産業の売上げの構造



日本(2013)



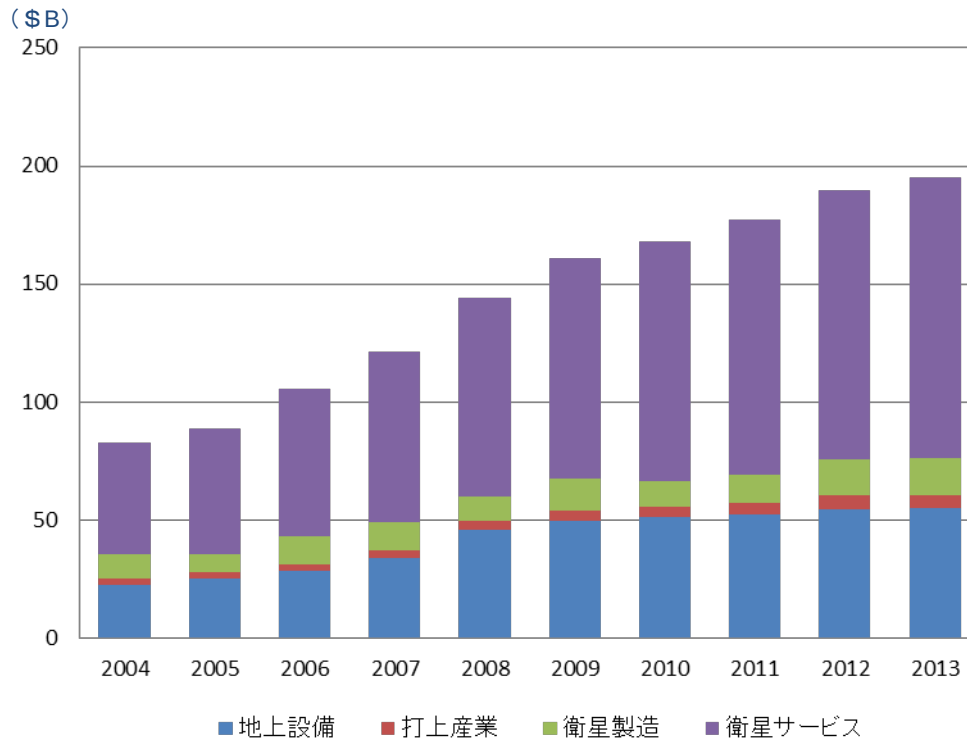
欧州(2012)

※(一社)日本航空宇宙工業会 平成26年度宇宙産業データブックをもとに作成。

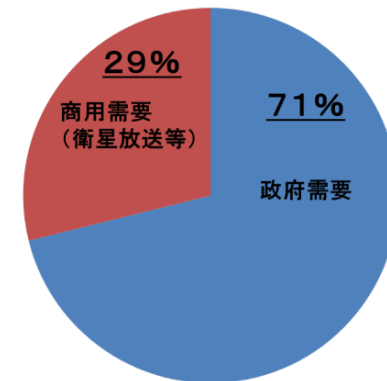
世界の宇宙産業の動向

- 世界の宇宙産業は拡大傾向。その中心は衛星通信・衛星放送などの利用産業。
- 宇宙機器産業については、政府向けが全体の7割。その約半分は安全保障関係。

世界の宇宙産業の売上規模



世界の宇宙機器産業の顧客(02-13年累計)



(一財)航空宇宙工業会 平成26年度宇宙産業データブック

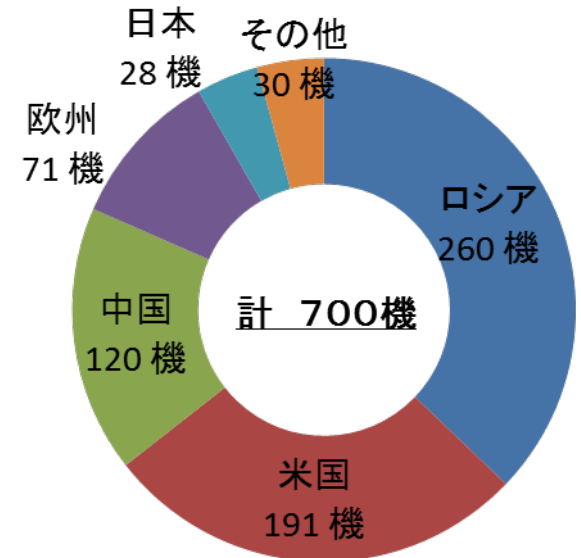
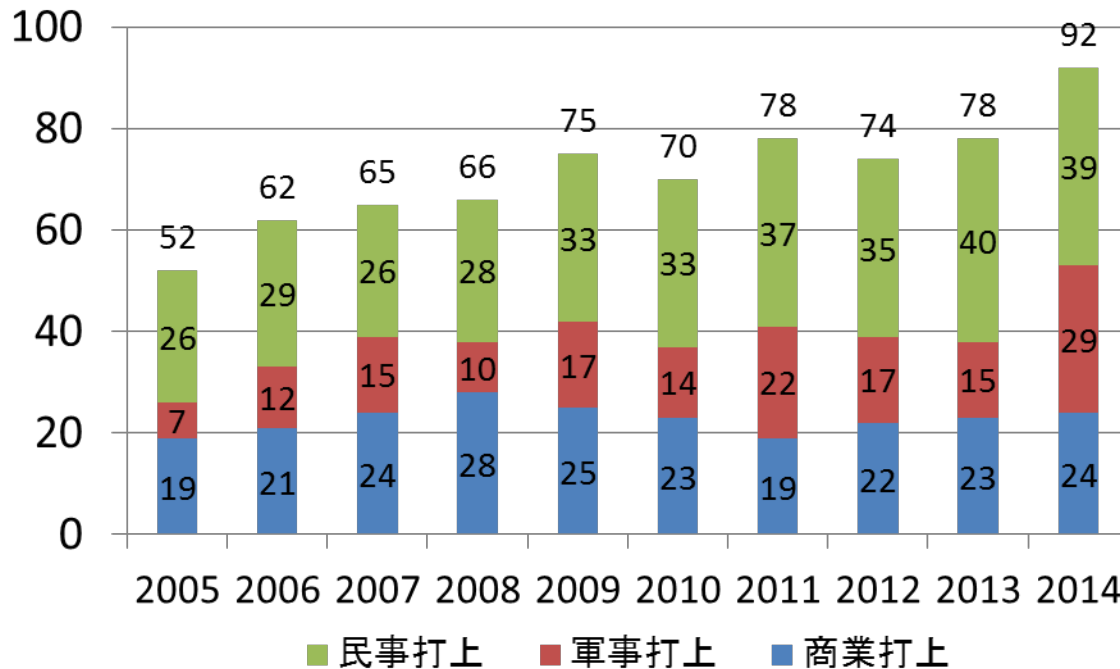
我が国宇宙産業の国際競争力①

- 世界の宇宙機器産業は、圧倒的な米国官需を獲得する米国企業が上位を占める。
- 商業打上げ市場トップのアリアンスペースは15位、商業衛星市場トップのスペースシステムロラールは16位。

順位	企業名	売上額(百万\$)	事業概要
1	(米)ロッキードマーティン	11,440	衛星、ロケット、地上設備など製造、サービス
2	(米)ボーイング	8,673	衛星、ロケット、地上設備など製造、サービス
3	(欧)エアバス	6,428	衛星、ロケット、地上設備など製造、サービス
4	(米)ノースロップグラマン	5,008	衛星機器、地上設備製造、技術支援など
5	(米)レイセオン	4,629	衛星機器、技術支援、ソフトウェアなど
6	(米)ガーミン	2,760	GPS関連機器、ソフトウェア
7	(欧)タレスアレニアスペース	2,680	衛星、衛星関連機器など
15	(欧)アリアンスペース	1,311	ロケット打上げサービス
16	(米)スペースシステムロラール	1,108	衛星製造
19	(日)三菱電機	930	衛星、衛星関連機器、地上設備製造など

我が国宇宙産業の国際競争力②

世界のロケット打上実績(2005～2014)



世界の商業打上(静止衛星)の現状

2005～2014	ロシア・ウクライナ	ヨーロッパ	アメリカ	多国籍(シーローンチ)	日本	その他
計 228機	103機 (45%)	51機 (22%)	38機 (17%)	21機 (9%)	0機 (0%)	15機 (7%)

注) 日本のロケットによる商用静止衛星の打ち上げは、本年11月の打上が初めて。

我が国宇宙産業の国際競争力③

- 我が国の衛星放送等の事業者は、実績・信頼性の高い欧米製の宇宙機器を利用。

国内で運用される商用通信・放送衛星

衛星名	打上年月	衛星バスメーカー	打上ロケット
BSAT-3a	2007年8月	ロッキード・マーティン（米）	アリアン5（欧）
BSAT-3b	2010年10月	ロッキード・マーティン（米）	アリアン5（欧）
BSAT-3c	2011年8月	ロッキード・マーティン（米）	アリアン5（欧）
SUPERBIRD-3	1997年7月	ヒューズ（現ボーイング）（米）	アトラス2（米）
JCSAT-1B	1997年12月	ヒューズ（現ボーイング）（米）	アリアン4（欧）
JCSAT-6	1999年2月	ヒューズ（現ボーイング）（米）	アトラス2（米）
N-SAT-110	2000年10月	ロッキード・マーティン（米）	アリアン4（欧）
SUPERBIRD-B2	2000年2月	ボーイング（米）	アリアン4（欧）
JCSAT-2A	2002年3月	ボーイング（米）	アリアン4（欧）
N-STAR c	2002年7月	オービタル・サイエンシズ（米）	アリアン5（欧）
Horizon-1	2003年10月	ボーイング（米）	ゼニット3SLB(ウ)（シー・ローンチ(米等)）
(SUPERBIRD-6)※	2004年4月	ボーイング（米）	アトラス2（米）
JCSAT-5A	2006年4月	ロッキード・マーティン（米）	ゼニット3SLB(ウ)（シー・ローンチ(米等)）
JCSAT-3A	2006年8月	ロッキード・マーティン（米）	アリアン5（欧）
(JCSAT-11)※	2007年9月	ロッキード・マーティン（米）	プロトンM（露）
Horizon-2	2007年12月	オービタル・サイエンシズ（米）	アリアン5（欧）
SUPERBIRD-C2	2008年8月	三菱電機（日）	アリアン5（欧）
JCSAT-RA	2009年8月	ロッキード・マーティン（米）	アリアン5（欧）
JCSAT-85	2009年12月	オービタル・サイエンシズ（米）	ゼニット3SLB(ウ)（シー・ローンチ(米等)）
B-SAT 3C	2011年8月	ロッキード・マーティン（米）	アリアン5（欧）
JCSAT-4B	2012年5月	ロッキード・マーティン（米）	アリアン5（欧）
JCSAT-14	2015年下期	SS/L（米）	ファルコン9（米）

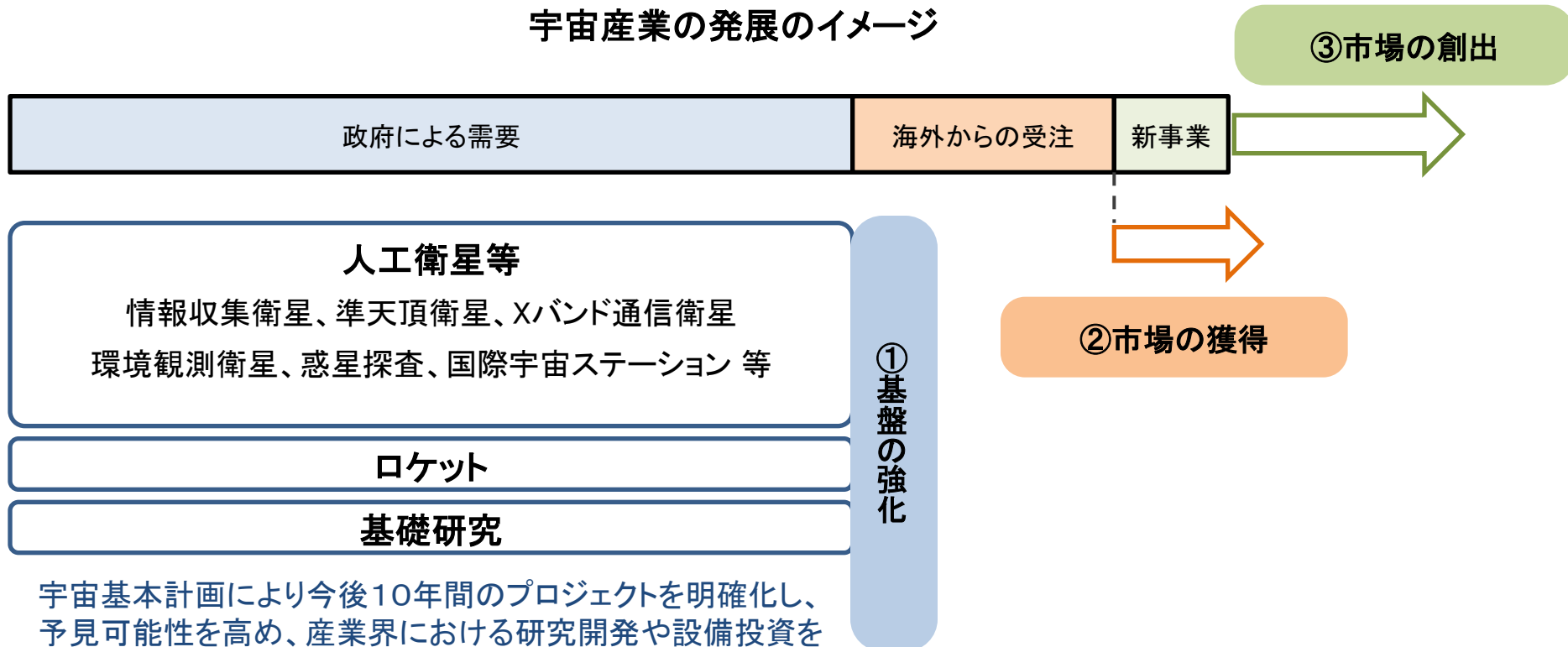
※は軌道投入失敗
（公開情報を基に経済産業省作成）

宇宙産業の発展について

宇宙産業の発展には、以下が重要。

- ① <基盤の強化> 予見性の高い政府需要により投資を円滑化し産業基盤を強化
- ② <市場の獲得> 海外からの受注を増やすことにより市場を獲得
- ③ <市場の創出> 新規ビジネスにより新たな市場を創出

宇宙産業の発展のイメージ



宇宙基本法及び宇宙基本計画について

宇宙基本法の制定(2008年)

○ 宇宙開発利用の役割拡大

科学技術中心から外交、防衛、産業振興等に役割を拡大

○ 宇宙基本計画の策定と推進

基本法の理念を具体化し、宇宙政策を総合的・計画的に推進するための施策プログラムとして「宇宙基本計画」を策定・推進

○ 宇宙開発戦略本部の設置

総理大臣を本部長とする政府の司令塔を設置、宇宙開発担当大臣を任命

宇宙基本計画の策定(2009年)

- 宇宙基本法(2008年)に基づき、我が国政府の宇宙関係政策について、初めて網羅的に記載

第一回改定(2013年)

第二回改定(2015年1月)

宇宙関連の政府予算の推移

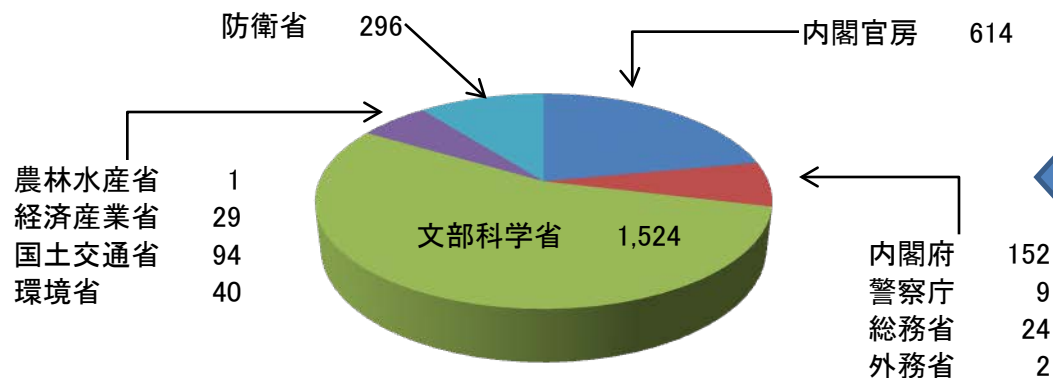
(億円)

	20当初	21当初	22当初	22補正	23当初	23補正	24当初	24補正	25当初	25補正	26当初	26補正	27当初
内閣官房	637	643	636	188	672	173	630	0	609	107	610	83	614
内閣府	3	2	8	0	5	0	112	0	109	151	132	70	152
警察庁	8	7	8	0	8	3	8	44	8	0	8	0	9
総務省	43	46	44	4	41	3	40	26	22	0	22	0	24
外務省	2	2	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
文科省	1906	1966	1854	140	1770	114	1739	229	1643	271	1562	299	1524
農水省	19	25	11	0	9	0	4	0	2	0	2	0	1
経産省	62	90	91	56	48	70	37	99	31	50	22	0	29
国交省	44	115	110	0	99	40	96	0	94	0	95	2	94
環境省	12	11	17	0	11	1	24	19	23	10	39	4	40
防衛省	423	580	609	4	413	27	288	0	677	0	746	1	296
計	3159	3487	3390	392	3078	431	2980	417	3220	589	3240	459	2785
年度計				3470	3411			3637		3829		3244	



宇宙基本法成立
(平成20年5月)

(内閣官房宇宙開発戦略本部、内閣府宇宙戦略室資料を基に経済産業省作成)



経済産業省の宇宙関連技術開発施策の考え方 (宇宙産業プログラム)

- 経済産業省は、宇宙基本計画に基づき、関係府省と分担・協力しつつ、以下の考え方に基づき技術開発プロジェクトを推進している。

1. 国際競争力のある人工衛星やロケットの実現に資する技術の開発

- ①高性能かつ小型で低価格な地球観測衛星の開発(ASNAROプロジェクト)
- ②民生技術を活用した競争力のある部品の開発(SERVISプロジェクト)
- ③空中発射技術の開発

2. エネルギー政策の推進に資する宇宙関連技術の開発

- ①資源探査を目的とした地球観測センサの開発
(ASTER/PALSAR、HISUIプロジェクト)
- ②宇宙太陽光発電技術の開発

宇宙産業プログラムの事業(プロジェクト)一覧

【今回の評価対象】

1. 国際競争力のある人工衛星やロケットの実現に資する技術の開発

①高性能かつ小型で低価格な地球観測衛星の開発(ASNAROプロジェクト)

- 2.A. 小型化等による先進的宇宙システムの研究開発
- 2.B. 超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発
- 2.C-1. 小型衛星群等によるリアルタイム地球観測網システムの研究開発
(複数衛星運用のための統合運用システムの研究開発)
- 2.C-2. 小型衛星群等によるリアルタイム地球観測網システムの研究開発
(画像自動判読システムの研究開発)
- 2.D. 可搬統合型小型地上システムの研究開発

②民生技術を活用した競争力のある部品の開発(SERVISプロジェクト)

- 2.I. 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>

③空中発射技術の開発

- 2.L. 空中発射システムの研究開発

2. エネルギー政策の推進に資する宇宙関連技術の開発

①資源探査を目的とした地球観測センサの開発

(ASTER/PALSARプロジェクト)

- 2.E. 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
- 2.F. 石油資源遠隔探知技術の研究開発
(HISUIプロジェクト)
- 2.G. ハイパースペクトルセンサ等の研究開発
- 2.H. 次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発

②宇宙太陽光発電技術の開発

- 2.J. 太陽光発電無線送受電技術の研究開発
- 2.K. 太陽光発電無線送受電高効率化の研究開発

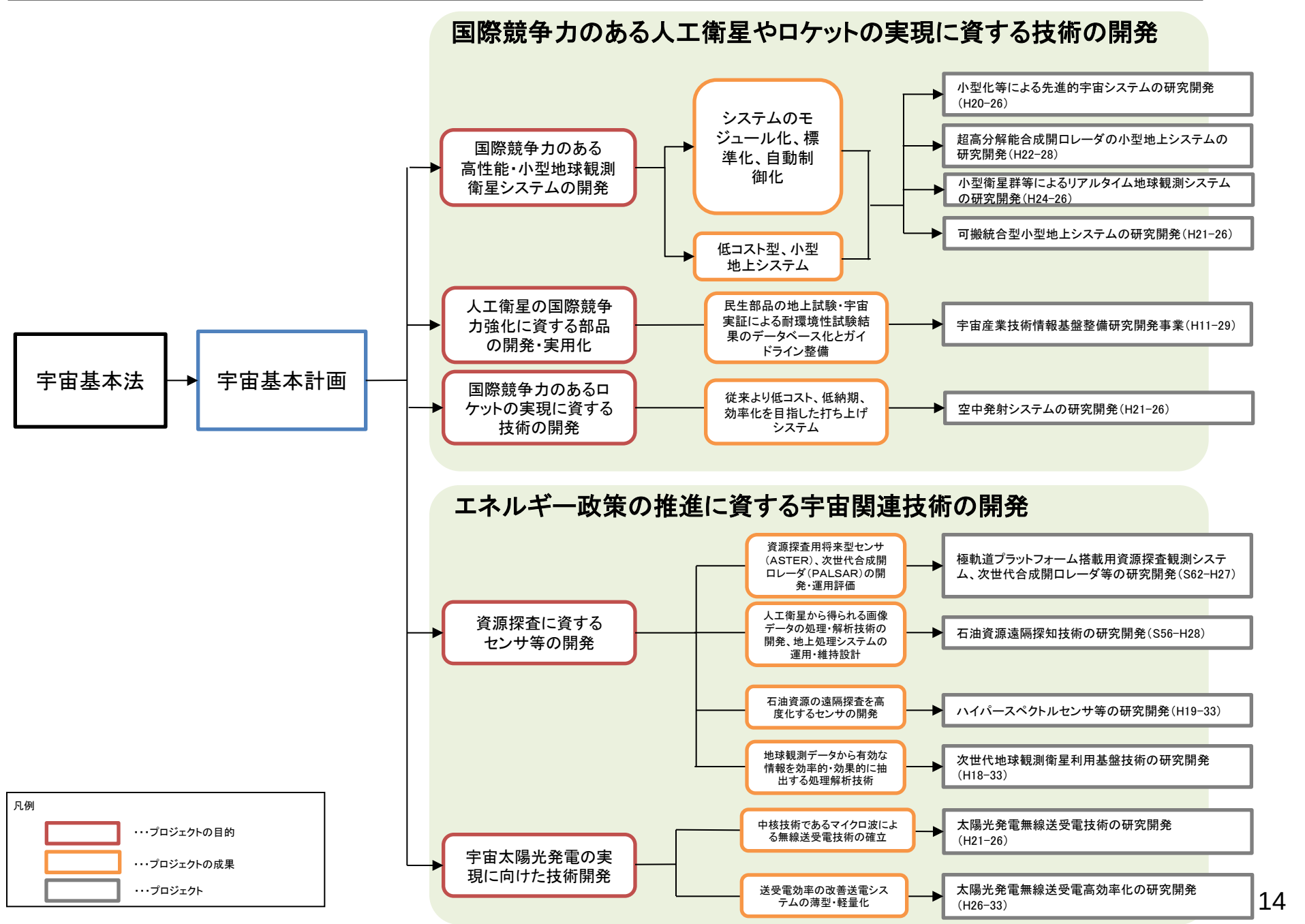
今回の評価の対象期間について

- 今回は、平成23～26年度の実施状況について評価する。
 - 平成26年度までに終了したプロジェクトについては、終了時評価を行う。
 - 平成27年度以降も継続中のプロジェクトについては、中間評価を行う。

(参考) 前回の評価について

前回は、平成20～22年度の実施状況について、平成23年度に評価を実施した。(平成24年3月に評価報告書を作成)

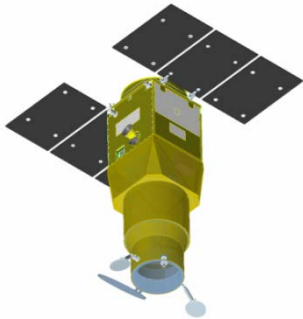
1.2. 施策の構造(ロジックツリー(宇宙産業プログラム技術体系))



ASNAROプロジェクト

- 平成20年度から、今後、科学・地球観測・安全保障等の分野で活用が進む小型衛星について、大型衛星に劣らない機能・低コスト・短期の開発期間を実現する高性能小型光学衛星(ASNARO1)の研究開発を実施しており、平成26年度に打上に成功した。また、平成22年度からは、高性能小型光学衛星に続き、民間企業等が行う低コスト、短期の開発期間を実現する高性能小型レーダ衛星(ASNARO2)の研究開発を実施した。
- 平成21年度から、追跡管制やデータ受信を省力化する低コスト・小型の地上システムの開発を実施した。
- 平成24年度から、ASNARO1及びASNARO2を初めとした日本製衛星システムを保有する各国のシステムとも連携を可能とする統合運用システム及び当該システムから得られる大量の衛星画像に対して、利用者が必要とする地物の自動判読を高速に実施し、利用者に判読結果を最適な形で提供するためのシステムの開発を実施した。

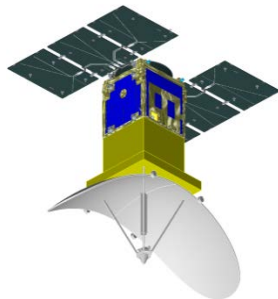
高性能小型衛星(ASNARO1、2)の研究開発



ASNARO1(光学衛星)

【主な諸元】

- ・光学分解能0.5m未満
- ・データ伝送速度:800Mbps
- ・寿命:5年
- ・重量495kg



ASNARO2(レーダ衛星)

【主な諸元】

- ・レーダ分解能:1m
- ・データ伝送速度:800Mbps
- ・寿命:5年
- ・質量:550kg程度

小型地上システムの研究開発



- システムの小型化・低コスト化を実現
→導入コスト1/5以下、運用コスト1/10以下

- 画像処理の高速化を実現
→衛星による撮像からデータ受信・画像配信まで最短1時間以内

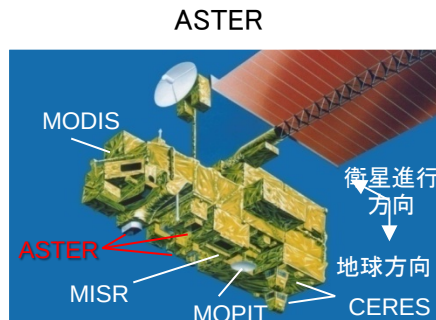
小型衛星群等によるリアルタイム地球観測網システムの研究開発

- 画像処理、配信の高速化により、複数衛星による撮像からデータ受信・データ複合処理を経て画像配信まで最短3時間以内(従来は3~5日)
- 自動判読により判読時間を30分に短縮(従来は数時間)

ASTER/PALSERプロジェクト

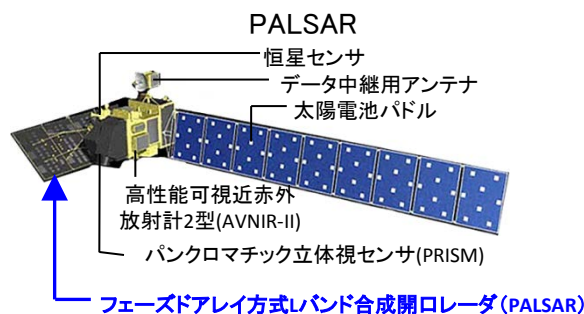
事業の内容

- 石油資源の安定的な確保のため、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います。これにより、石油資源の遠隔探知(リモートセンシング)に不可欠な衛星データの処理・解析技術の確立及び向上を図る。
- 具体的には、資源探査用衛星センサ(ASTER、PALSAR等)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への実証研究・事例を蓄積。
- これらにより処理したデータの判読及び妥当性の検証等により、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し、我が国における石油資源探査事業の効率化等を図る。



【主要諸元】

- VNIR、SWIR、TIRの3種のセンサ
- 平成11年(1999年)打ち上げのNASAの衛星Terraに搭載
- 地上分解能 15m × 15m ※VNIRの場合
- 観測幅 60km



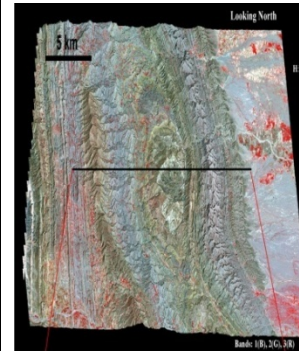
【主要諸元】

- Lバンド合成開口レーダ
- 平成18年(2006年)打ち上げのJAXAの衛星ALOSに搭載
- 地上分解能 10m(高精度モード)
- 観測幅 70km(高精度モード)

事業イメージ

センサを用いた石油資源探査

光学センサ(ASTER)
で捉えた画像

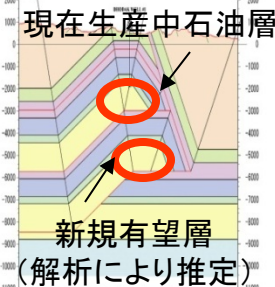


ASTERデータの
スペクトル解析

対象地層の砂岩層と
泥岩・砂岩層を細分化

ASTERDEM
データ解析

地層の走向・傾斜から
精密地質構造推定



現在生産中の石油胚胎層の下部に
新規有望層を推定

鉱区取得・精密探査(確認調査)へ

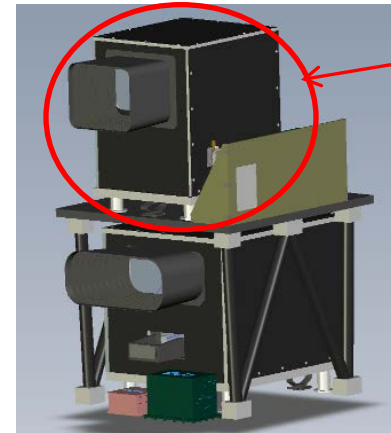
HISUIプロジェクト

事業の内容

- ASTERと比べ、13倍のスペクトル分解能を持つハイパースペクトルセンサ等の開発を行う。
- 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。
- ハイパースペクトルセンサは、海外において実証・実験段階のものは存在するが、高度な解析に本格的に利用できる仕様のものはまだなく。世界初の高性能ハイパースペクトルセンサを我が国が運用できるよう開発を行う。
- 併せて、同センサによって地質や植生を判別するための基礎となるスペクトルデータのデータベースを作成する。また、利用ニーズに則した情報を地球観測データから抽出するための処理・解析アルゴリズムを開発し、リモートセンシングの利用拡大を図る。

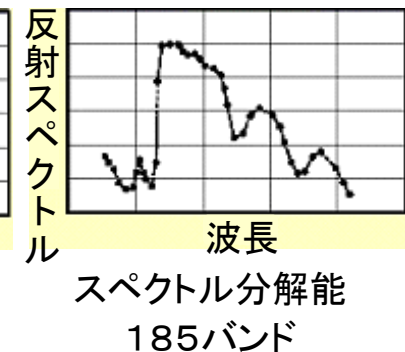
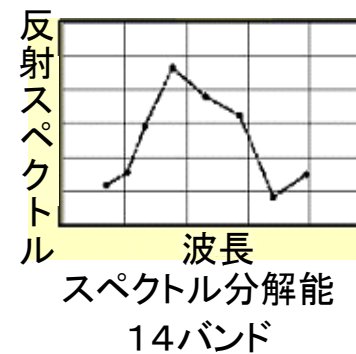
事業イメージ

ハイパースペクトルセンサについて



ハイパースペクトル
センサ

分解能: 30m
観測幅: 30km
バンド数: 185



ハイパースペクトルセンサは、物質の特徴を示すスペクトルデータを従来よりも多く(ASTERセンサの13倍)取得することができ、それにより解析能力の向上を図っている。

SERVISプロジェクト

事業の内容

- 我が国宇宙産業の国際競争力を強化するため、民生部品・民生技術の活用による衛星・コンポーネントの低コスト化、高性能化、短納期化を実現。
- 地上試験や衛星搭載による宇宙実証を通じて、民生部品・民生技術の耐放射線耐性等を試験・評価し、宇宙機器への転用に必要な知的基盤(データベース、ガイドライン)を整備。
- 超小型衛星の利用により、進歩の早い民生部品・民生技術のいち早い宇宙実証や中小・ベンチャー企業の参画促進が期待できる。
- また今回開発する超小型衛星に設計等の標準化等の考え方を取り入れ、衛星の低コスト化に取り組み、国際市場の参入促進や政府衛星事業の効率化を進める。

事業イメージ

■ 民生部品・民生技術の選定



【宇宙実証の望まれるコンポーネント(例)】

機能分類	候補コンポーネント
データ処理・衛星制御系	・マルチコアCPU(低消費電力) ・オンボードコンピューター(小型化(従来比1/30)、省電力化(従来比1/3)、耐放射線・耐高温性)
姿勢制御系	ジャイロ(安価・国産・高精度)
推進系	スラスター(無毒系推進材の採用、小型軽量化(従来比1/2))
電力系	バッテリー(小型化、長寿命化)
通信系	通信機(小型化、低価格化)

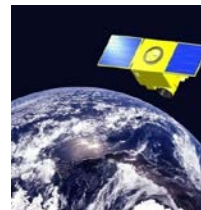
(出所)経済産業省調べ

■ 対放射線耐性等の地上試験・宇宙実証

＜実証成果の活用例＞
(SERVIS-1,-2衛星)

- スターセンサ統合型衛星制御装置
※従来価格の2/3～1/2
- 無調整型TTCトランスポンダ
※従来価格の1/2
- 次世代パドル駆動装置
※JAXA衛星にて採用
- リチウムイオン電池
※従来価格の1/2、事実上の世界標準化

■ 知的基盤(データベース・ガイドライン)整備



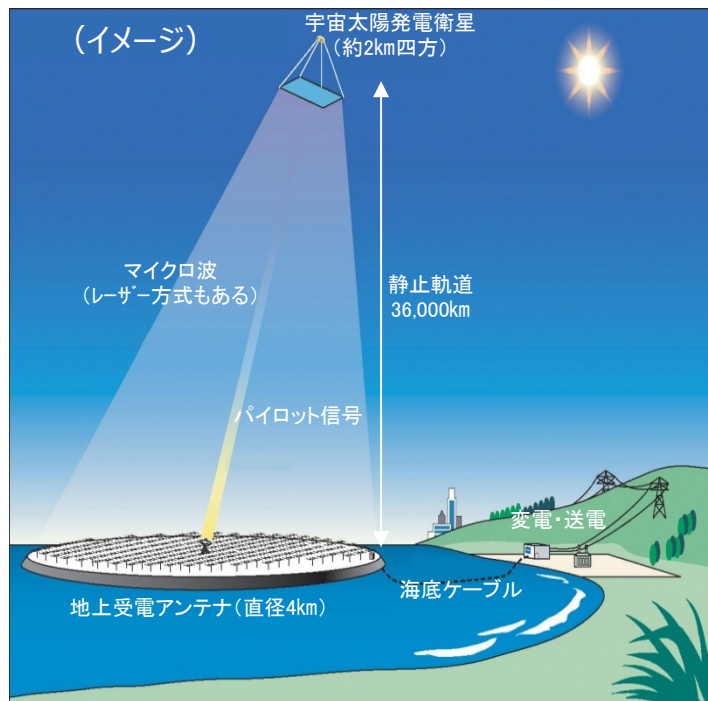
衛星・コンポーネントの
国際競争力向上
(低コスト化、高性能化、
短納期化)

宇宙太陽光発電

事業の内容

- 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送受電について、送受電効率の改善及び送電システムの薄型・軽量化に向けて、高効率な送受電部の研究開発等を行う。
- 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、本事業では、中長期的な研究開発のロードマップの作成を行う。

事業イメージ



宇宙太陽光発電システム（SSPS : Space Solar Power System）とは、宇宙空間において太陽エネルギーで発電した電力を無線などに変換のうえ、地上へ伝送し、地上で電力に変換して利用する将来の新エネルギーシステム。

空中発射システム

事業の内容

○我が国の人工衛星の打上サービスには、高コスト、打上時期の制限、打上位置が不利(※)等の課題がある。これらの課題を克服するとともに、今後、増加が見込まれる小型人工衛星の打上げ需要を取り込むことを見据えた、新しい打上システムを開発する。

(※)日本国内の打上射場は赤道や北極から遠いため射場として最適な位置にはありません。

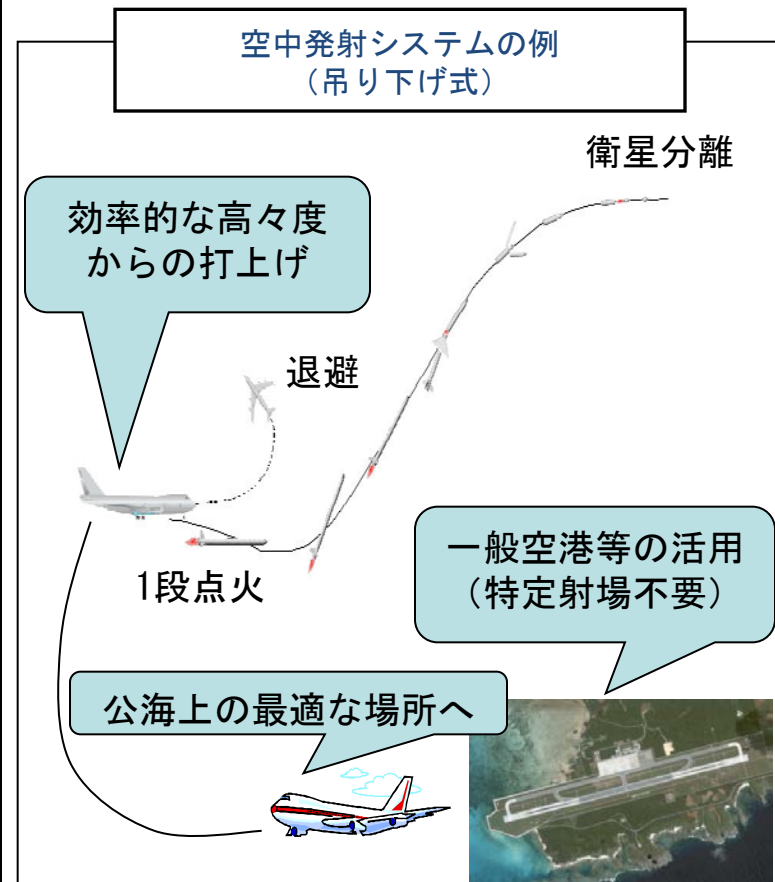
○本事業で取り組む空中発射システムには、

- ①射場が不要であり、又高々度からの打上げにより省エネになるため、コストを抑えられること
 - ②打上時期が天候に左右されないこと
 - ③打上位置の自由度が高いこと
- 等の特徴がある。

○また、おおむね2020年頃に世界的な需要増加が見込まれる150kg級の小型衛星を打ち上げることに特化した開発を行う。

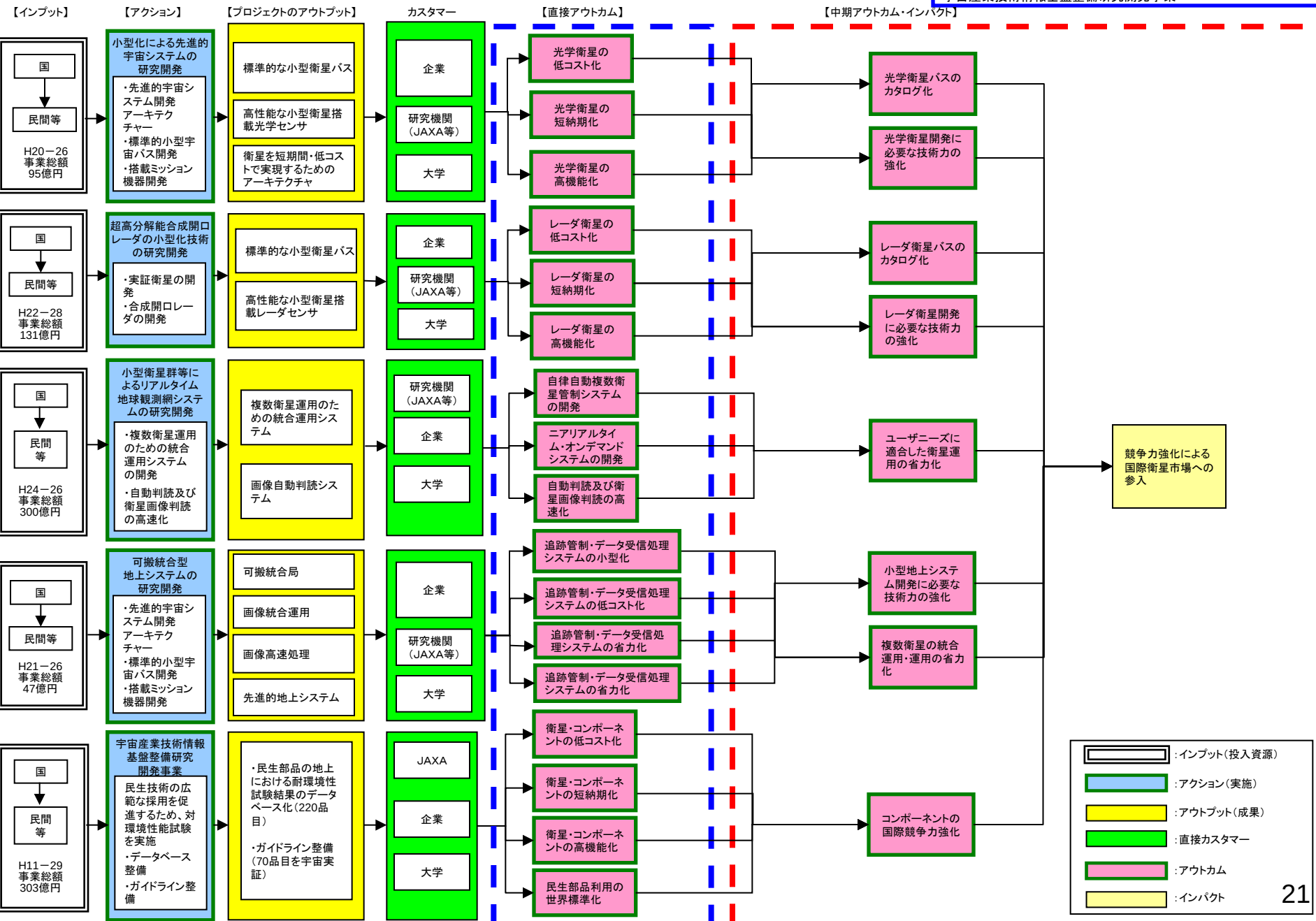
○こうした取り組みにより、我が国の打上コストの低減及び海外からの需要獲得を目指すとともに、他の打上サービスとの競争を促し、中長期的な我が国宇宙産業の国際競争力の強化を図る。

事業イメージ



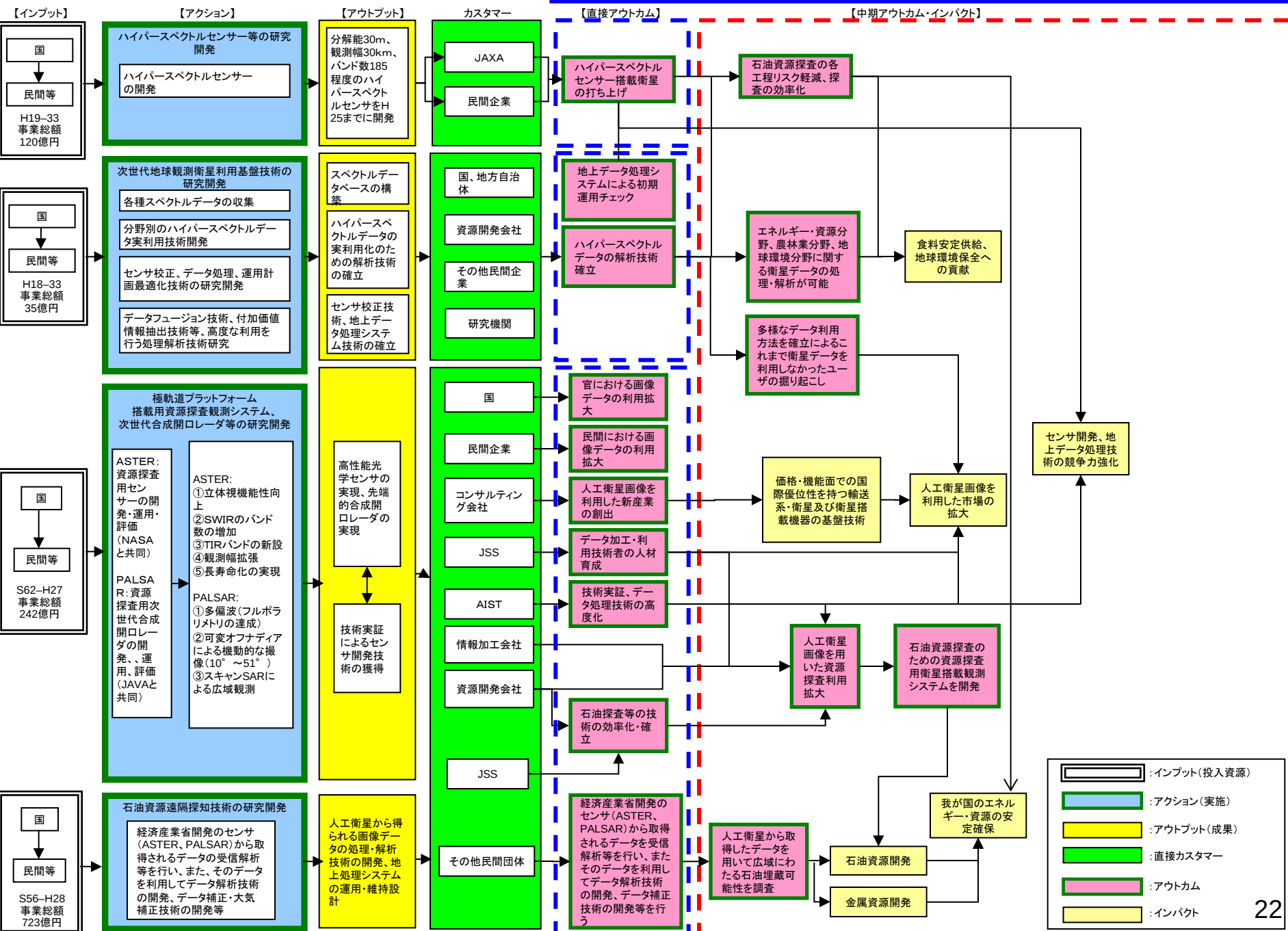
1.3. 施策の目的実現の見通し(ロジックモデル)

小型化による先進的宇宙システムの研究開発
超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発
小型衛星群等によるリアルタイム地球観測網システムの研究開発
可搬統合型小型地上システムの研究開発
宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業



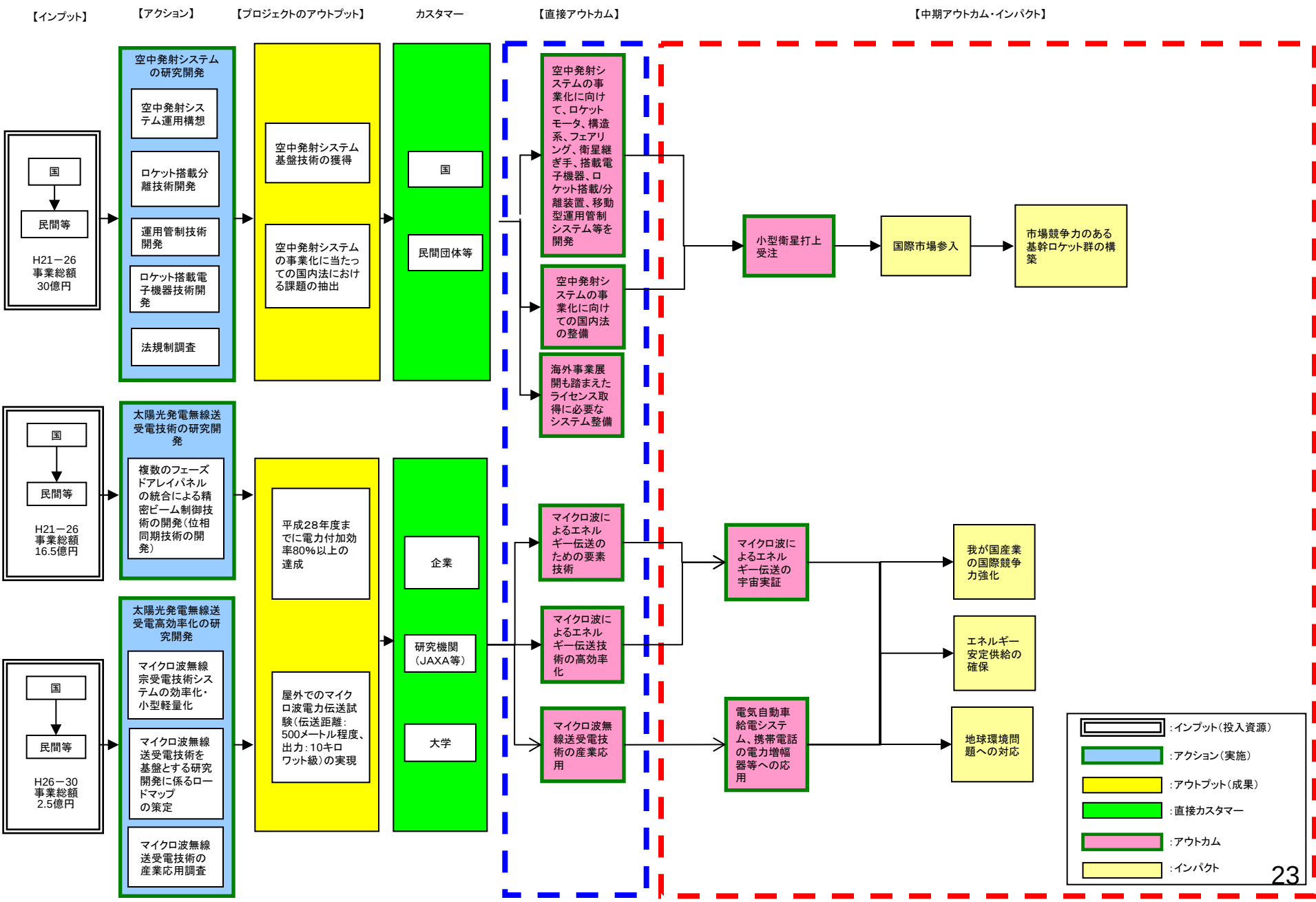
1.3. 施策の目的実現の見通し

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／石油資源遠隔探知技術の研究開発／ハイパースペクトルセンサ等の研究開発／次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発



1.3. 施策の目的実現の見通し(ロジックモデル)

空中発射システムの研究開発
太陽光発電無線送電技術の研究開発
太陽光無線送電受電高効率化の研究開発



1. 4. 評価

4-1. 評価検討会

評価検討会名称

宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会

座長

建石 隆太郎
国立大学法人千葉大学
環境リモートセンシング研究センター長 教授

委員

澤谷 邦男
国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部
レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長

中山 裕則
学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授

橋本 英一
元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長

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

評価検討会委員

4-2. 総合評価(施策の目的・政策的位置付けの妥当性)

- 新興国における導入が期待されるコストパフォーマンスの良い衛星システムを構築することは我が国の宇宙産業の国際競争力強化に非常に有用であり、小型、軽量、低コスト、短納期かつ高性能な人工衛星を開発するという事業目的は極めて妥当。こうした開発は民間での達成は難しく、国の事業としての必要性は高い。衛星システムの具体的な開発目標も、打上機会、開発期間、ペイロード質量などを踏まえ500kg級を選択したことなど、適切に設定されている。
- 事業の成果としては、小型衛星バスを構築するとともに、地上分解能0.5m未満の高性能光学センサを開発し、地球観測衛星「ASNARO-1」を完成させ、軌道上で所期の目標を達成しており、高く評価できる。さらに、運用システムの自律運用の導入により運用コストを低減するという野心的な取組も達成している。
- 開発に際しては、民生機器・部品の採用に現実的な設計方針で望んでおり、性能目標についても柔軟に難度の高い方へ変更し、それを達成しているなど、適切に事業が遂行されている。
- 今後は、軌道上実証の状況を分かり易く定期的に公表するなどにより成果を示すことで、ビジネス展開につなげていくことが重要。また、得られた成果が十分な国際競争力のあるものになっているか自己評価を行うことや、ユーザー等の声も踏まえた実証運用とフィードバックを行い改良すべき点を検討することにより、今後10年、20年を目指した性能設定のあり方など、将来への課題を示すことが望ましい。

4-2. 総合評価(施策の構造及び目的実現見通しの妥当性)

- 本施策において、国際競争力を向上させるための衛星・センサの低コスト化、小型化、高機能化を目指したハードの開発と、運用・利用のためのソフト(利用技術)の開発がバランスよく実施されており、プロジェクト等は適切に配置されている。
- 国際競争力のある小型衛星の開発(ASNAROプロジェクト)、資源探査等に資する観測センサの開発(ASTER/PALSAR及びHISUIプロジェクト)、宇宙実証(SERVISプロジェクト)、宇宙太陽光発電、空中発射システムの各プロジェクトとも、濃淡はあるが現時点において得られた成果は概ね妥当である。
- 一方、現状は、どちらかといえば宇宙機器等の開発に重点が置かれており、今後は、より広い分野を対象としたニーズの掘り起こしや新たな利用方法の開発など、人工衛星から得られたデータの利用を振興する取組を強化することが望ましい。
- また、いくつかの事業において、計画、体制、費用対効果、技術や社会の変化に対する対応などについて、明確化が十分でない点があるように思える。また、技術目標の設定根拠が明確でない箇所もあった。
- 施策全体の目標達成に向け、どのような事業を実施するかについては、開発するシステムが市場開拓の条件に合う性能と使い易さを持っているかなど世界の趨勢等を考慮しつつ、調整しながら推進することが重要。例えば、SERVISプロジェクトの3号機は、当初の目的設定は理解できるが、現時点では再検討を要する。

4-2. 総合評価(コメント)

- 国全体の大きな宇宙政策に則り、日本の宇宙産業の発展に必要な施策が適切に実施されていると判断できる。
- 特に、小型衛星(ASNAROプロジェクト)、観測センサ(ASTER/PALSAR及びHISUIプロジェクト)で所期の成果を上げたことは、将来につながる技術であり評価できる。これらの施策は継続的に実施する必要がある、今後も同様の予算措置をすべきである。
- 一方、本施策の推進に当たっては、世界の宇宙産業の動向を見据え、海外の技術との比較などを通じて真に国際競争力のある技術であるかを評価し、日本の得意とする技術力を重点的に伸ばしていけるよう、事業の過不足について常に検討を加えることが必要である。
- 具体的には、近年の情勢変化を踏まえ、SERVIS-3号機及び、空中発射システムの意義については、再検討を要すると考えられる。
- なお、衛星リモートセンシング分野における海外市場獲得には資源探査だけでなく農業、防災などさまざまな分野におけるサービスをパッケージで提供していくことが有効であり、今後は、幅広い分野におけるリモートセンシングデータ利用の拡大につながる取組が重要と考えられる。
- 加えて、衛星リモートセンシングから取得したデータの適切な取扱いについて、我が国としてのルールを確立することが必要である。

1. 5. 提言及び提言に対する対処方針(1/3)

今後の研究開発の方向等に関する提言

- 世界の宇宙産業の拡大傾向に対し、日本の宇宙産業は必ずしも同期しているとはいえない。この理由は、技術力をベースとした宇宙産業の成長が必ずしも十分ではなく、またニーズの開拓も不十分であることによると考えられる。これらの点を克服するため、国が適切な技術開発施策を推進することは極めて重要である。

しかし、諸外国、特に米国などの先行する宇宙産業と直接競争することは短期的に少なからず困難を伴うことが考えられる。そのため、日本でこれまで培われ国際的にも高い評価を受けた宇宙産業関連の技術を継承しつつ、それらをより発展させる施策が適切と考えられる。特に、既存技術を改良・発展させて、コスト削減、高機能化、利用の多目化を図ることや、高信頼性、高安定性の実現していくことなどは、日本が得意とするところであり、海外の技術との比較をしながら、この方向での技術開発を発展的かつ積極的に推進することが望ましい。

提言に対する対処方針

- 今後の研究開発に当たっては、これまでに培われた技術を承継・活用し、また、その技術を発展させるものとなるよう、検討を行いながら、取り組んでまいりたい。

1. 5. 提言及び提言に対する対処方針(2/3)

今後の研究開発の方向等に関する提言

- 新興国(ASEAN、中央アジア、中南米、アフリカなど)におけるニーズの開拓と展開は、国際協力という観点からも極めて重要と考える。

このような観点から、国際競争力のある高性能かつ低コストな人工衛星等の開発や、将来のエネルギーの確保に資する高機能な衛星センサ及びその利用技術の開発、宇宙太陽光発電技術の開発等を、宇宙基本法及び宇宙基本計画に基づき経済産業省が実施することは極めて重要であり、本施策を引き続き着実に推進すべきである。

施策の推進に当たっては、世界の宇宙産業の動向を見据え、海外の技術との比較などを通じて真に国際競争力のある技術であるかを評価し、日本の得意とする技術力を重点的に伸ばしていけるよう、事業の過不足について常に検討を加えることが必要である。

具体的には、近年の情勢変化を踏まえ、SERVIS-3号機及び、空中発射システムの意義については、再検討を要すると考えられる。

提言に対する対処方針

- 施策の推進に当たっては、世界の宇宙産業の動向を見据え、海外の技術との比較などを通じて真に国際競争力のある技術であるかを評価し、日本の得意とする技術力を重点的に伸ばしていけるよう、検討を行いながら取り組んで参りたい。

なお、SERVIS実証衛星3号機については、JAXAの革新的衛星技術実証プログラムと連携することで、取りやめることとしている。空中発射システムの今後の研究開発については、その意義をよく検証してまいりたい。

1. 5. 提言及び提言に対する対処方針(3/3)

今後の研究開発の方向等に関する提言

- 衛星リモートセンシング分野における海外市場獲得には資源探査だけでなく農業、防災などさまざまな分野におけるサービスをパッケージで提供していくことが有効であり、今後は、幅広い分野におけるリモートセンシングデータ利用の拡大に向け、日本全体の英知を結集する仕組みを導入するなどの工夫が重要と考えられる。
- 将来的な技術開発の方向性としては、地上に配置したセンサ等から人工衛星を活用して情報を収集するシステムの実現に資する技術の研究開発などが考えられる。さらに長期的には、宇宙空間を物質生産・加工の場として活用するための技術開発も一案である。

提言に対する対処方針

- 衛星リモートセンシングにおいては、HISUIプロジェクト等において、データ利用拡大に向けた取組を実施しているところであるが、効果的な取組について検討・実施してまいりたい。
- 今後の技術開発の検討においては、ご指摘の視点も踏まえて、検討してまいりたい。

2. 技術に関する事業の概要(プロジェクト)

A 小型化等による先進的宇宙システム の研究開発 (終了時評価)

製造産業局宇宙産業室
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構
日本電気株式会社

A. 1.小型化等による先進的宇宙システムの研究開発(プロジェクト)の概要

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確立することを目的とする。主な課題：①地上系との連携により総合システム開発する。②先進的宇宙システムのアーキテクチャ(仕組み)を構築する。③国際競争力ある高性能光学センサ、小型衛星バスを開発する。④宇宙実証を行う。
実施期間	平成20年度～平成26年度
予算総額	100.1億円(委託事業) (平成23年度:26.8億円 平成25年度: 6.7億円)
実 施 者	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構 日本電気株式会社 共同研究:国立大学法人東北大学、 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)

A. 2.事業の目的・政策的位置付け

事業の目的

- 高性能な小型衛星を短期間に低コストで実現するための新たな衛星システム開発アーキテクチャ(設計思想)を確立するとともに、これら設計思想や中小企業等の優れた民生技術を導入し、大型衛星に劣らない機能を維持しつつ、低コスト、短納期を実現する高性能小型衛星の開発技術を獲得することを目的とする。
- 本事業により、我が国宇宙産業の国際競争力を強化し、国際衛星市場への参入、政府衛星の計画的かつ効率的な開発・調達を図る。
- さらに我が国の小型化技術を活用した小型衛星により高頻度な観測を可能とする地球観測衛星網を整備・運用することが重要であり、ベトナムをはじめとしたASEAN防災ネットワークを構築しリアルタイムの衛星画像提供市場の創出を目指す。

政策的位置づけ

○宇宙基本計画(平成21年6月)抜粋

光学、レーダセンサについて高分解能の性能を低コストで実現する戦略的な小型衛星(ASNARO(仮称))について、民間とのパートナーシップも想定した人工衛星の研究開発を進め、まず光学センサを搭載した小型光学実証機を打ち上げ、技術実証を推進する

○日ASEAN首脳会合議長声明(平成23年11月)抜粋

ASEAN and Japan leaders, reaffirmed our determination to continue exploring effective use of science and technology such as satellite system as well as jointly developing the regional network for disaster preparedness and disaster relief with AHA Centre in the hub through the "Disaster Management Network for the ASEAN Region."

○宇宙基本計画(平成25年6月)抜粋

我が国衛星技術の強みをいかした「ASEAN防災構築構想」に賛同するアジア各国と共同でリモートセンシング衛星のコンステレーションを整備し、(中略)現在開発中のASNARO1、2等も含める方向で検討する。

A. 3.目標

項目	目標・指標	設定理由・根拠等
総合システム	地上・宇宙総合システムとしての開発を行う。	METI 事業として地上系(可搬統合型小型地上システムの研究開発)との整合をはかり、付加価値の高い地上・宇宙総合システムを実現する必要がある。
新しい仕組み	先進的宇宙システムのアーキテクチャを構築する。	従来からの宇宙産業だけではなく、中小企業や新規参入企業を含めた業界全体を活性化することで国際競争力を強化する必要がある。
短納期の仕組み	再製造の場合に、2 年間で製造・試験実施を可能にする。	2 年間で製造試験ができることで国際競争力強化可能を確保できる。
自動自律運用	人間の判断無しで1 週間以上のバスの自動自律運用を実現する。	省力化による運用費用削減が可能になる。省力化による運用費用削減が可能になる。
小型衛星バス※1	バス質量 300kg 程度以下の小型地球観測衛星を開発する。	小型衛星バスとして各種ミッション※2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 300kg のバス質量を設定した。
高性能光学センサ	地上分解能(GSD)0.5m 未満(軌道高度 500km、パンクロマチック)を目標とする可視光地球観測センサを開発する。	諸外国の中型大型の先進光学観測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。
宇宙実証	軌道上実証を実現する。	軌道上実証により実績と信頼性評価が得られ、競争力が強化される。

※1:衛星バス・・・人工衛星の電力、通信、姿勢制御等の基本機能に必要な機器

※2:ミッション機器・・・通信、地球観測など衛星の用途(ミッション)に必要な機器

A. 4.成果、目標の達成度 (1/2)

項目	目標・指標	成果	達成度
総合システム	地上・宇宙総合システムとしての開発を行う。	宇宙機側と地上システムである「可搬統合型小型地上システムの研究開発」担当(パスコ)とで、合同調整会議および細部技術検討を行う分科会により「総合システム開発仕様書」を平成 23 年 3 月に制定した。以降、同会議・分科会にて情報共有・検討を行いつつ、本仕様書を基として衛星-地上適合性試験を実施した。	達成
新しい仕組み	先進的宇宙システムのアーキテクチャを構築する。	・宇宙機関との連携、宇宙関連企業の技術を集結しただけでなく、中小企業や新規参入企業もコンソーシアムとして加えることにより、先進的宇宙システム設計、製造、試験の「仕組みづくり」の検討を行った。	達成
短納期の仕組み	再製造の場合に、2 年間で製造・試験実施を可能とする。	・新しい宇宙システム対応の標準ネットワーク方式であるスペースワイヤを採用することで、ミッション機器の変更に対してはソフトウェアの変更で対処が可能になり、従来はミッション要求に応じて設計変更を行っていたバス機器のリピート生産が可能になり、設計変更により必要となる費用やリードタイムが圧縮でき、2 年以内の開発が可能であるという目処が立った。また、スペースワイヤ試験センターを整備した。	達成
自動自律運用	人間の判断無しで 1 週間以上のバスの自動自律運用を実現する。	・自動機能、自律機能を活用して、観測計画とバス運用のコマンドをアップロード可能な衛星側の仕組みを構築し、1 週間以上の自動自律運用の目処が立った。	達成
小型衛星バス	バス質量 300kg 程度以下の小型地球観測衛星を開発する。	JAXA との共同研究により、軌道維持／修正のための推進系に燃料を充填した状態で 300kg 以下の重量(燃料なしで、設計値 250kg)となる小型衛星バスを製造し、性能確認試験、ミッション系搭載機器との組み合わせ試験、システム試験を実施した。	達成

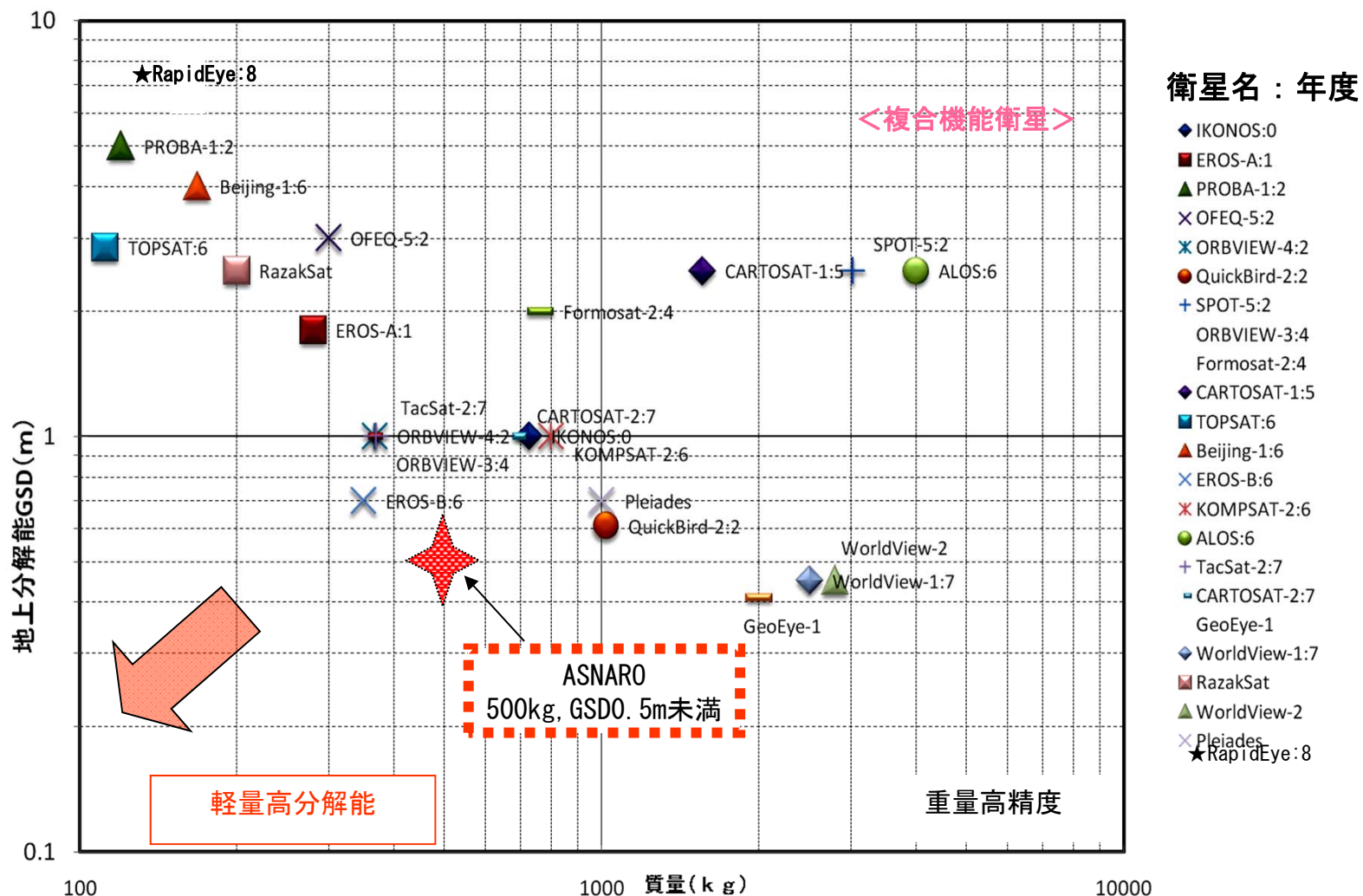
A. 4.成果、目標の達成度 (2/2)

項目	目標・指標	成果	達成度
高性能光学センサ	地上分解能(GSD)0.5m 未満(軌道高度500km、パンクロマチック)を目標とする可視光地球観測センサを開発する。	最終目標である地上分解能(GSD)0.5m 未満(軌道高度500km、パンクロマチック)のセンサとそれに光を集光することのできる光学反射望遠鏡を、設計の段階から開発し、個別試験で性能を確認した。また衛星バスとの組み合わせ試験、システム試験を実施した。	達成
宇宙実証	軌道上実証を実現する。	・国内外の打ち上げロケットを検討し、ロシア ISC コスモトラス社のドニエプルを選定した。 ・衛星ーロケット インタフェース調整、衛星の射場への輸送、射場での打上げ準備作業を経て、平成 26 年 11 月 6 日(日本時間)に衛星を打上げ、軌道上運用を開始した。 ・「総合システム開発仕様書」を基にして、機能・性能について軌道上実証を行った。	達成

(1) 総合システムの開発

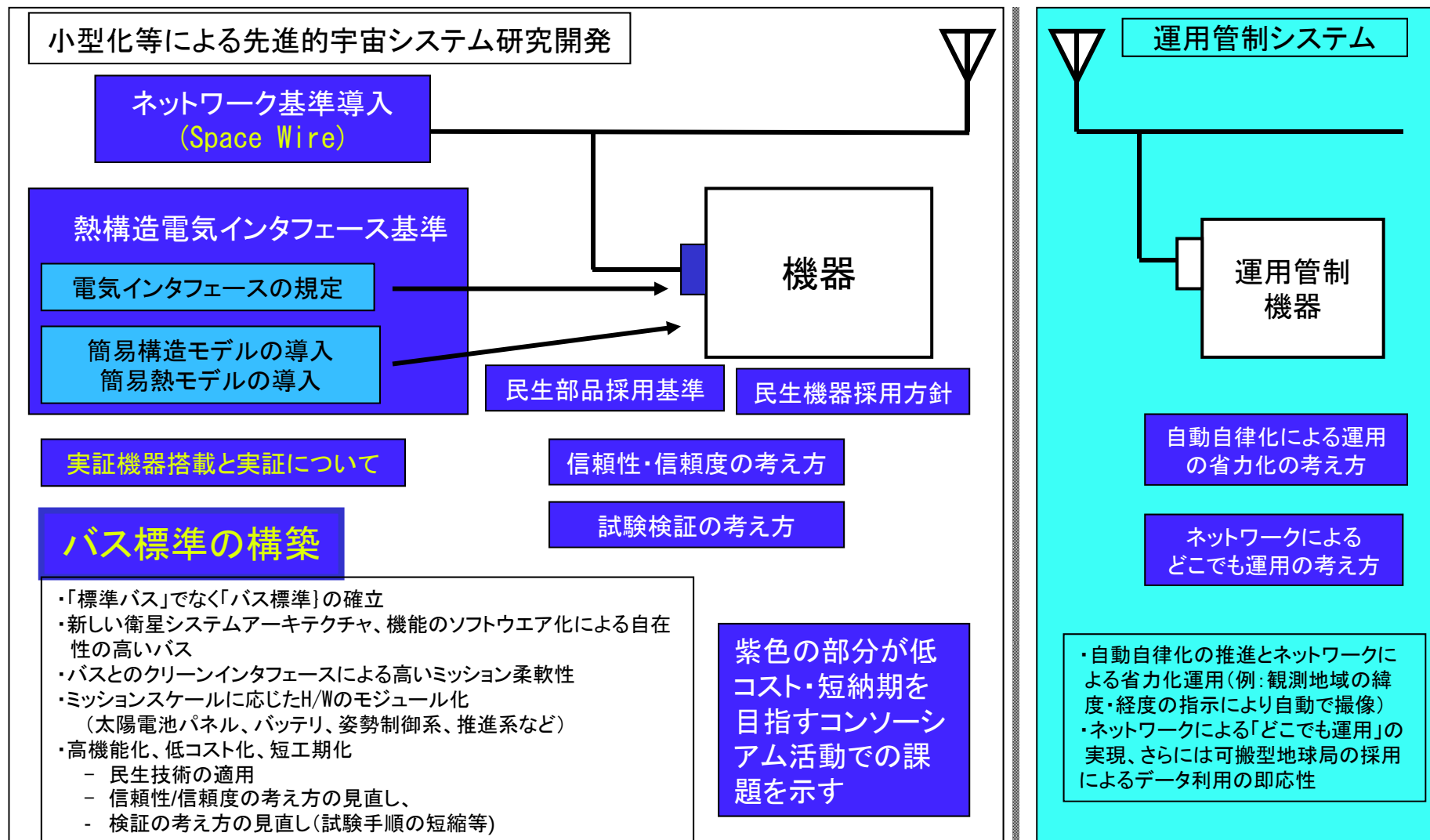
ミッション性能（軽量高性能光学センサ）

衛星質量とGSD（地上サンプル距離）の相関関係

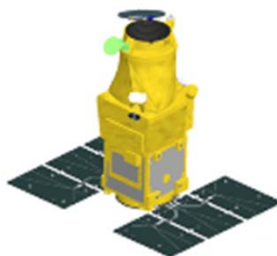


注：米国規制により、日本で米国衛星取得画像は、GSD0.5m未満の画像入手は不可
(例えばGSD 0.2mの画像でも、日本で購入する場合にはGSD 0.5m以上の粗い画像に変換される。)

(2) 先進的宇宙システムのアーキテクチャの構築

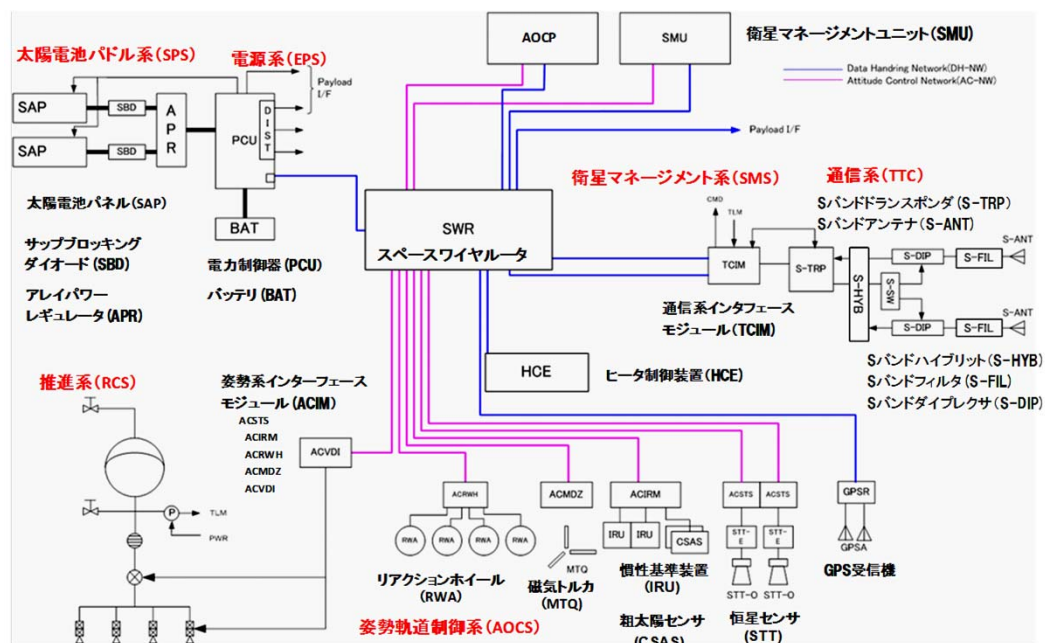
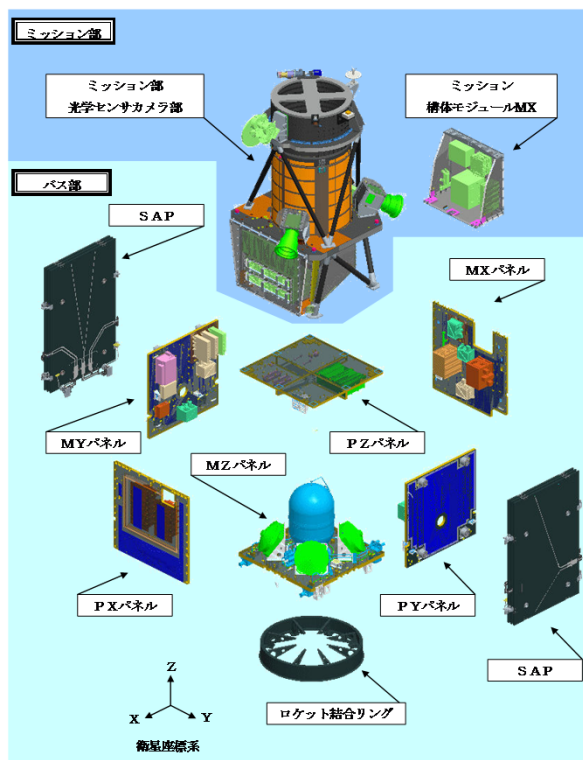


(3) 小型衛星システム・バスの開発



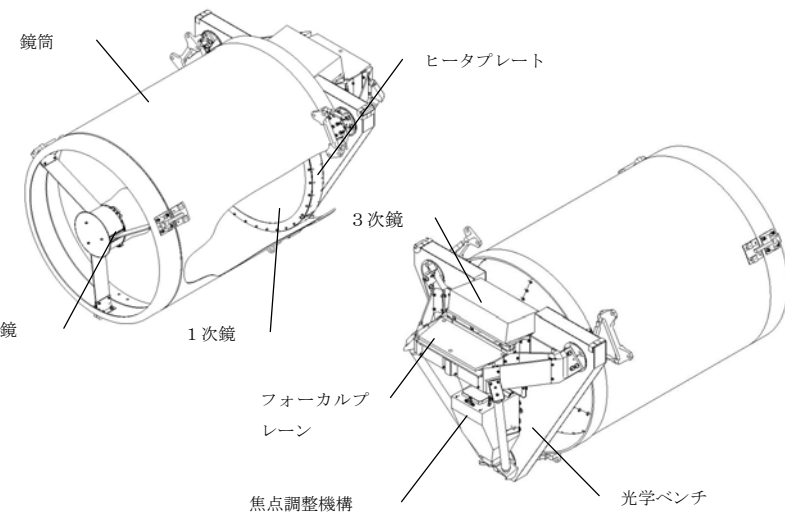
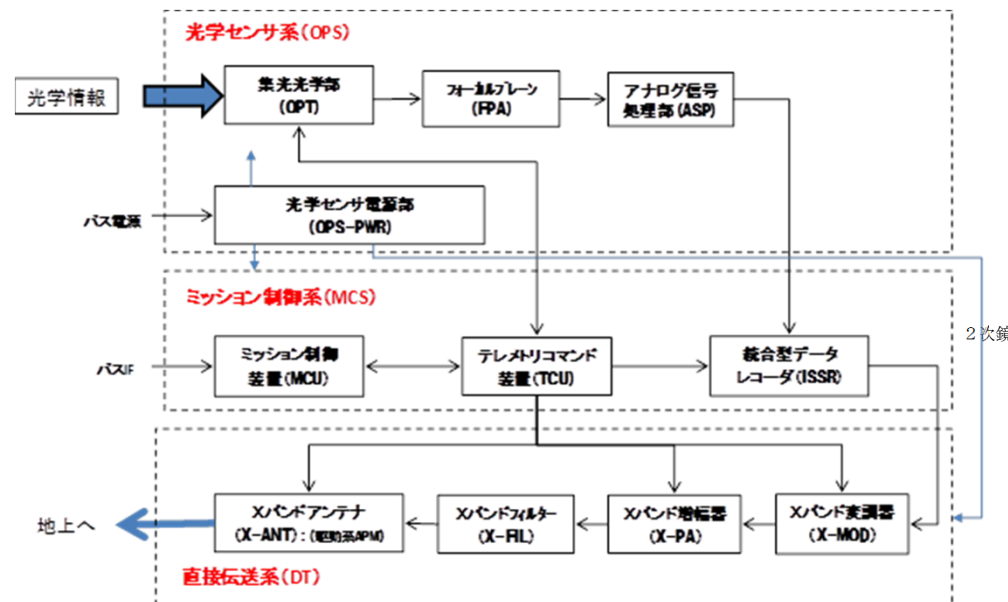
ミッション - 光学センサ	パンクロ／マルチー体型 分解能: 0.5m未満 (パンクロ, 高度504km) 観測幅: 10km
- データ記憶量	120GB以上
- データ伝送	Xバンド 16相QAM, 約800Mbps
撮像範囲	直下±45degの円錐領域内
アジリティ	90deg/90秒 (平均 1deg/秒)

打上	2014年度 内外主要ロケットに適合 太陽同期準回帰軌道 (高度504km) 軌道傾斜角: 97.4°
軌道	降交点通過太陽地方時刻: 11時
地上局	国内商用地上設備および可搬局、海外局
運用期間	3年以上 (目標5年)
質量	・バス 250 kg (推進剤除く) ・ミッション 200 kg (最大搭載可能質量) ・推進剤 45 kg (最大搭載可能質量) <TOTAL> 495 kg
電力	発生電力: 1300 W (3年後) ミッション供給電力: 400 W



(4) 高性能光学センサの開発

項 目	設計結果	備 考
軌道高度	504km	
軌道	太陽同期準回帰軌道、円軌道	
センサの種類	高分解能パンクロ・マルチセンサ	
マルチセンサバンド数	6バンド	可視及び近赤外
空間分解能(GSD)	パンクロ: 0.5m未満 マルチ: 2m以下	直下
観測幅	パンクロ: 10km以上 マルチ: 10km以上	
検出器種類	パンクロ: TDI型CCD マルチ: TDI型CCD	



(5) 宇宙実証



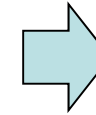
打上げ準備 @ロシア、ヤスニ射場



射場への輸送
平成26年8月20～22日



打上げ
平成26年11月6日
@ヤスニ射場



軌道上実証

(平成26年11月7日～)



背景©ESA:STA
衛星©NEC

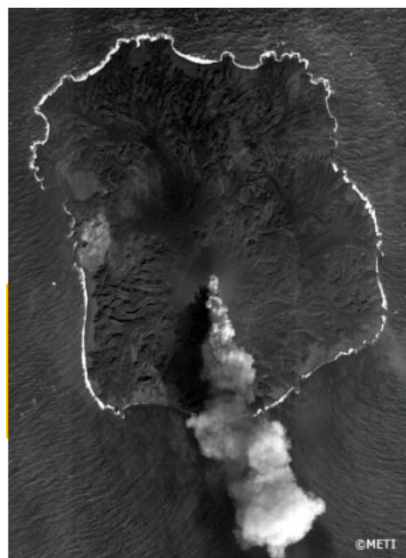
衛星画像のサンプル(ASNARO-1)



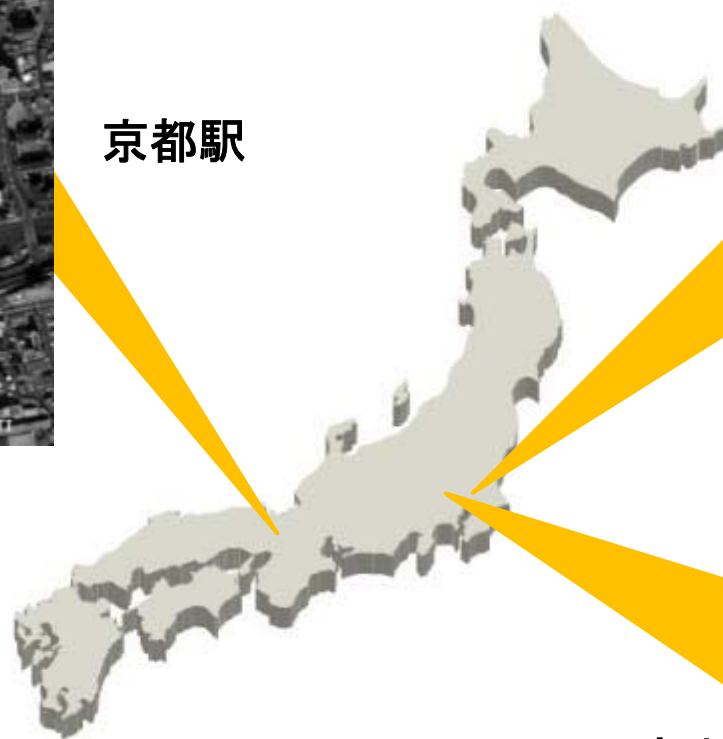
京都駅



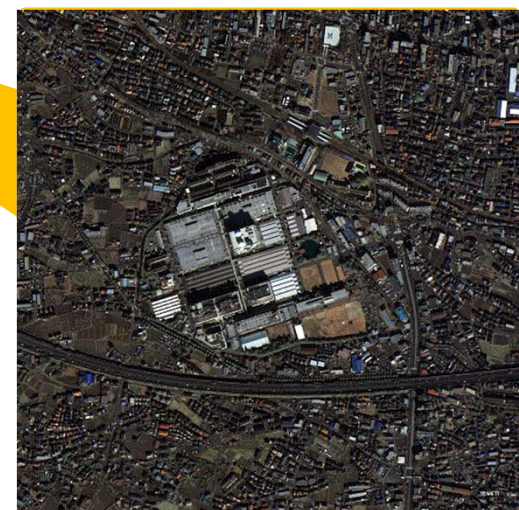
スカイツリー



西之島



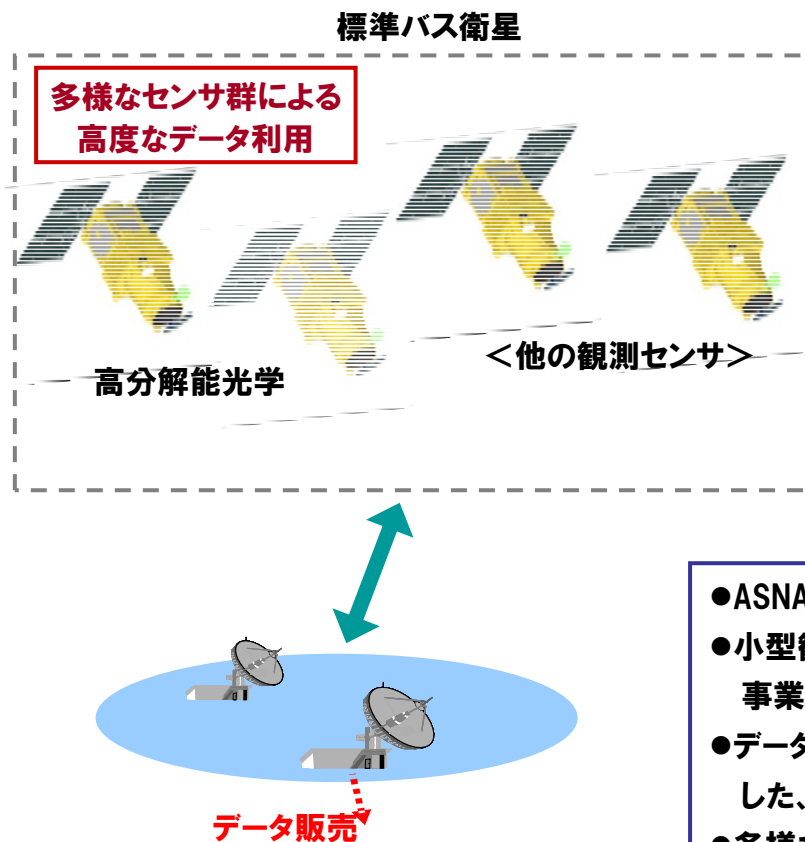
NEC府中
事業場



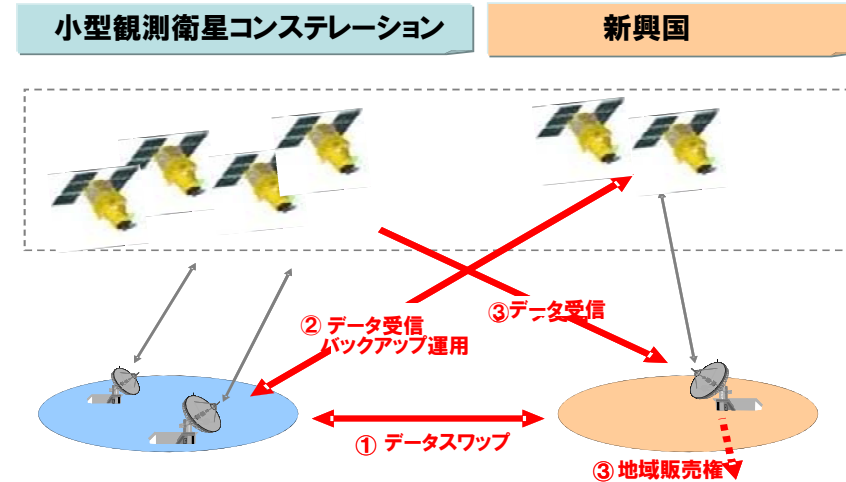
2. A. 5.事業化、波及効果

(1) 事業化の見通し

地球観測データ利用事業への事業拡大



小型観測衛星による海外新興国への事業拡大



- ASNAROの成果を小型標準バス「NEXTAR」という名称で製品化する
- 小型観測衛星のコンステレーションにより、観測画像のデータ利用事業を推進する
- データ利用志向の中～上級レベルの新興国ユーザを主なターゲットとした、小型地球観測衛星システム販売事業を推進する
- 多様な観測ミッションラインアップにより、海外拡販活動を行う

海外展開への可能性

海外貿易会議（官民合同）ミッション

- ・南アフリカ（エジプト、南アフリカ）訪問：平成22年2月
- ・南米（ブラジル、ペルー、アルゼンチン）訪問：平成22年8月
- ・アジア（モンゴル、カンボジア）訪問：平成23年2月

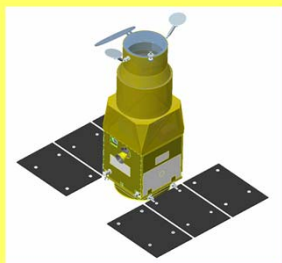


「今後の我が国の宇宙産業について」（経済産業省HP）を基に編集

- 海外システム輸出
⇒ 1つのプロジェクト当たり衛星製造、地上設備構築、打上、初期運用の売り上げを期待
- データ利用事業を拡大
⇒ 国際コンステレーションにより高い観測頻度を確保し、データ利用事業の拡大を期待
- 複数衛星の製造・販売を前提とした量産体制を整備
⇒ 更なる低価格化・短納期化を実現

(2) 波及効果

ミッションへの柔軟な対応

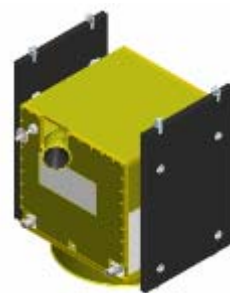


光学センサ衛星

他観測センサ候補

- ・合成開口レーダ
- ・ハイパーセンサ
- ・熱赤外センサ 等

- バス標準
- スペースワイヤネットワーク導入
- システム/機器インタフェース標準
- 民生部品採用基準
- 民生機器採用方針
- 信頼性/信頼度の考え方
- 試験検証の考え方
- 自動自律運用の考え方
- どこでも運用の考え方



300kg級 標準衛星バス

衛星開発運用アーキテクチャの革新

@ASNARO衛星開発運用活性化活動

市場要求への柔軟な対応

- 低コスト要求の市場
 - 片系、COTS部品/機器
- 高信頼性要求の市場
 - 冗長系、Hi-REL部品
- コンステレーション衛星市場

→ 量産により、更なる
低価格化、短納期化

- スペースワイヤネットワーク
- スケーラブル設計(電力、アクチュエーション)
- 標準ペイロードインタフェース
- 各種ロケット適合性
- モジュール化アーキテクチャ

標準バスコンセプト

@JAXA/ISAS小型科学衛星バスとの共同研究

A. 6.研究開発マネジメント・体制等

【委託先】

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

・研究項目：

- (1) 地上・宇宙総合システムの開発
- (2) 先進的な宇宙システム開発アーキテクチャの確立
- (3) 標準的小型衛星バスの開発
- (4) 搭載ミッション機器の開発
- (5) 宇宙実証

先進的宇宙システム技術委員会

委員長：JAXA宇宙科学研究所教授 斎藤宏文

衛星開発運用活性化小委員会

委員長：東京大学教授中須賀真一

システム小委員会

委員長：JAXA宇宙科学研究所教授 斎藤宏文

ミッション小委員会

委員長：JAXA宇宙科学研究所教授 中川貴雄

コンソーシアム

【委託先】

日本電気株式会社(NEC)

・研究項目：

- (1) 地上・宇宙総合システムの開発
- (3) 標準的小型衛星バスの開発
- (4) 搭載ミッション機器の開発
- (5) 宇宙実証

【共同実施先】

国立大学法人東北大学

・研究項目：

民生部品のシングルイベント耐性評価

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
(JAXA)

・研究項目：

小型衛星バスの低コスト・短期開発を実現する
ための技術開発

A. 7. 前回の中間評価(平成23年度)の結果

中間評価コメント

- 事業(プロジェクト)によっては、既に確立されつつある技術の実用化と長期的な観点から技術レベルの向上を図るものがある。両者とも全体としての目標と、それを具体化するための個別要素技術の達成目標を立てて事業化してゆくのが望ましい。
(全事業共通)
- 目標設定が必要性的によって決定されることが重要であり、達成可能見込みから判断して目標設定が付けられることがないかを注視する必要がある。(全事業共通)

提言に対する対処方針

- 全体目標とそれを達成するための個別要素技術の目標を立てて実施しており、引き続き事業化に向けて取り組んでまいりたい。なお、本事業においては、センサの開発及び安定的な運用を図ることを全体目標としており、また、それぞれの構成機器等においても個別に評価指標を設定している。
- 目標を設定する際には、事業者側からのみならず、利用者の視点も踏まえた目標となるよう努めているところである。なお、本事業においては、別途実施している、石油資源遠隔探知技術の研究開発において利用事業を実施しており、関係者間の情報共有等も図っているところである。

A. 8. 評価

A. 8－1. 評価検討会

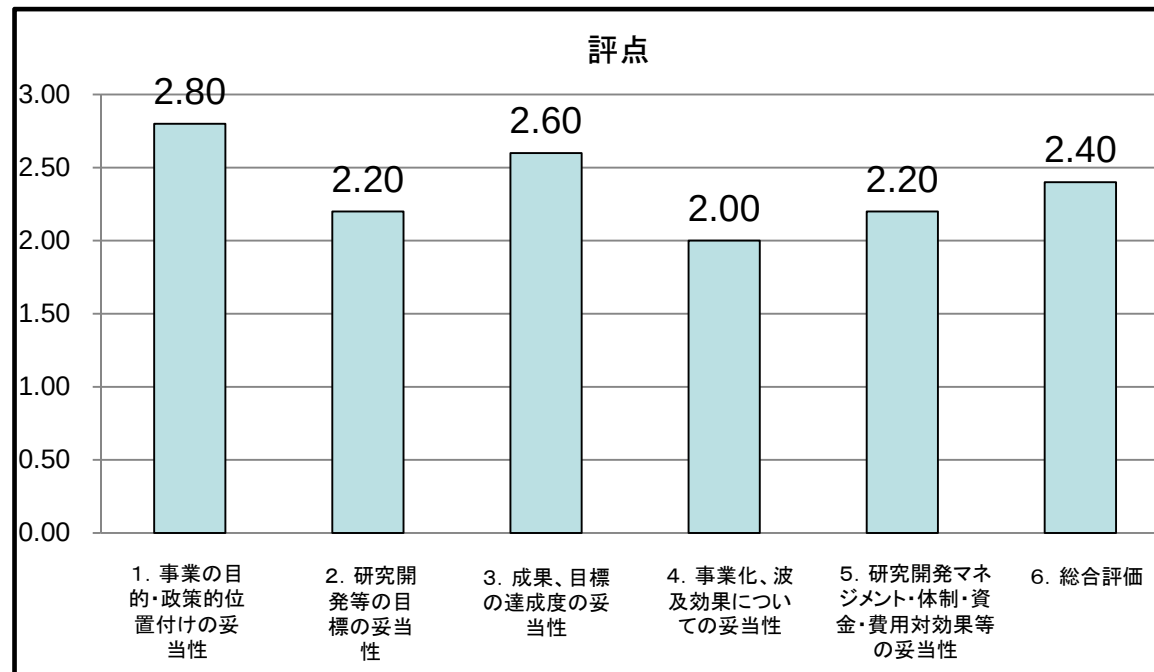
評価検討会名称	宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会	
評価検討会委員	座長	建石 隆太郎 国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター長 教授
	委員	澤谷 邦男 国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部 レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長 中山 裕則 学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授 橋本 英一 元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長 三宅 弘晃 学校法人五島育英会 東京都市大学 工学部機械システム工学科 准教授

A. 8－2. 総合評価(コメント)

- 新興国における導入が期待されるコストパフォーマンスの良い衛星システムを構築することは我が国の宇宙産業の国際競争力強化に非常に有用であり、小型、軽量、低コスト、短納期かつ高性能な人工衛星を開発するという事業目的は極めて妥当。こうした開発は民間での達成は難しく、国の事業としての必要性は高い。衛星システムの具体的な開発目標も、打上機会、開発期間、ペイロード質量などを踏まえ500kg級を選択したことなど、適切に設定されている。
- 事業の成果としては、小型衛星バスを構築するとともに、地上分解能0.5m未満の高性能光学センサを開発し、地球観測衛星「ASNARO－1」を完成させ、軌道上で所期の目標を達成しており、高く評価できる。さらに、運用システムの自律運用の導入により運用コストを低減するという野心的な取組も達成している。
- 開発に際しては、民生機器・部品の採用に現実的な設計方針で望んでおり、性能目標についても柔軟に難度の高い方へ変更し、それを達成しているなど、適切に事業が遂行されている。
- 今後は、軌道上実証の状況を分かり易く定期的に公表するなどにより成果を示すことで、ビジネス展開につなげていくことが重要。また、得られた成果が十分な国際競争力のあるものになっているか自己評価を行うことや、ユーザー等の声も踏まえた実証運用とフィードバックを行い改良すべき点を検討することにより、今後10年、20年を目指した性能設定のあり方など、将来への課題を示すことが望ましい。

A. 8－3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 実施された事業は、優れていた。

2点: 実施された事業は、良かった。

1点: 実施された事業は、成果等が今一步のところがあつた。

0点: 実施された事業は、成果等が極めて不十分であつた。

A. 9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- これまで日本の宇宙関連産業が蓄積してきた人工衛星/センサの開発、運用、解析の技術を継承しながら発展させるという点から、人工衛星の高分解能化や高頻度観測、その高精度かつ高速な運用・処理・解析に資する技術の開発についての検討が必要と考えられる。また、輸出が期待される国々のニーズに即した技術の開発についても検討することが重要と考えられる。

具体的には、例えば、

- 複数衛星/センサによる高頻度観測が可能となるような小型化かつ低コストの高機能衛星/センサ技術の開発(本格的な「小型高機能衛星」の実現)
- 資源探査に有効な高空間分解能・高スペクトルの光学センサの発展的な開発
- 小規模機関や民間などでも十分に利用可能な簡易衛星データ受信・処理・解析の一貫システムの開発
- 多様な地域に対応できる衛星データの高精度解析手法の開発

などが想定される。(A～H事業共通)

提言に対する対処方針

- 今後のリモートセンシング衛星に関わる研究開発に当たっては、これまでに培われた技術を承継・活用し、また、その技術を発展させるものとなるよう、検討を行いながら、取り組んでまいりたい。

輸出が期待される国々・ユーザーのニーズに即した研究開発についても、検討してまいりたい。

B 超高分解能合成開口レーダの 小型化技術の研究開発 (中間評価)

製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
日本電気株式会社

B. 1.超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発(プロジェクト)の概要

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。
実施期間	平成22年度～平成28年度
予算総額	131.1億円(補助事業) (平成23年度:33.7億円 平成24年度:58.5億円 平成25年度:38.2億円)
実 施 者	日本電気株式会社

B. 2.事業の目的・政策的位置付け

事業の目的

- 将来の成長が期待される我が国の宇宙産業の国際競争力を強化するために、軌道上検証済みの高性能小型衛星(光学衛星)に続き、民間企業等が行う高分解能なXバンド合成開口レーダの小型化、低コスト化を実現する高性能小型衛星(レーダ衛星)の研究開発を助成する。
- 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が実現できるシステムを構築することが可能となる。またレーダ衛星は、光学衛星では撮像できない夜間・悪天候においても撮像が可能であるため、光学衛星と一対のシステムとして需要がある。
- 本事業を通じて、民間企業等に衛星の実証機会を提供することにより、光学衛星、レーダ衛星、地上局をひとつの衛星システムとして国際市場へ参入することが可能となる。これらの衛星システムについては、すでに複数の国から調達に関する要請照会が来ている。
- また、宇宙基本計画等においても着実な実施が求められている。

政策的位置づけ

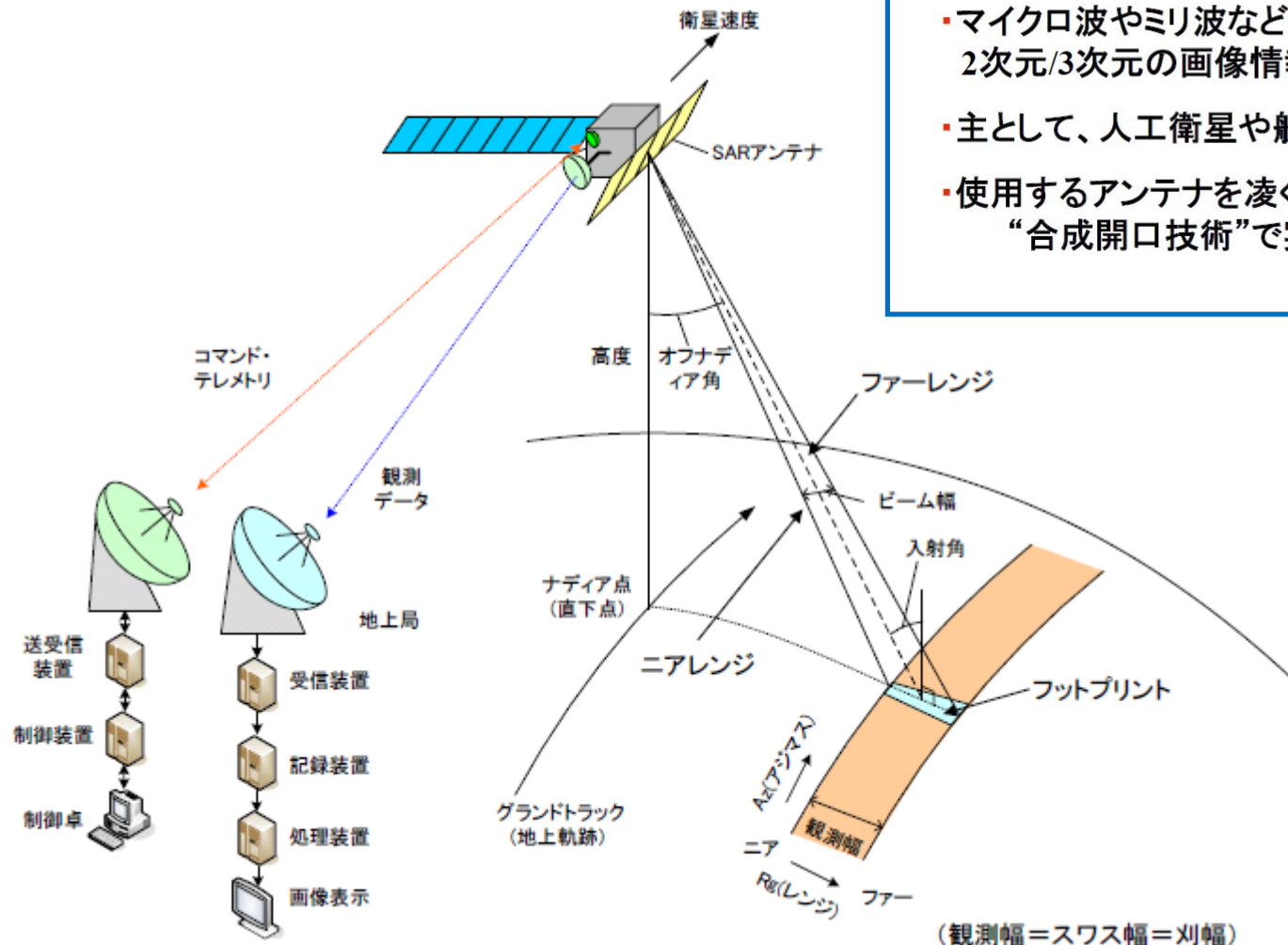
- 高性能小型衛星(レーダ衛星)の研究開発
 - ・小型の光学衛星と合成開口レーダ衛星を組み合わせることにより、高頻度の地球観測システムを構築することが可能
 - ・衛星搭載用として我が国初のXバンド合成開口レーダ
 - ・低コストで世界最先端クラスの分解能
- 我が国宇宙産業の国際競争力の強化
国際衛星市場への参入(アジア・中東等)
 - ・国際産業協力、ODA案件形成政府衛星の計画的・効率的な開発・調達
 - ・科学衛星等への活用
 - ・先端民生技術・部品の実証機会の提供新たな衛星システム運用への展開
 - ・複数機運用による広域観測や高頻度観測

合成開口レーダ (SAR) 衛星とは

合成開口レーダ

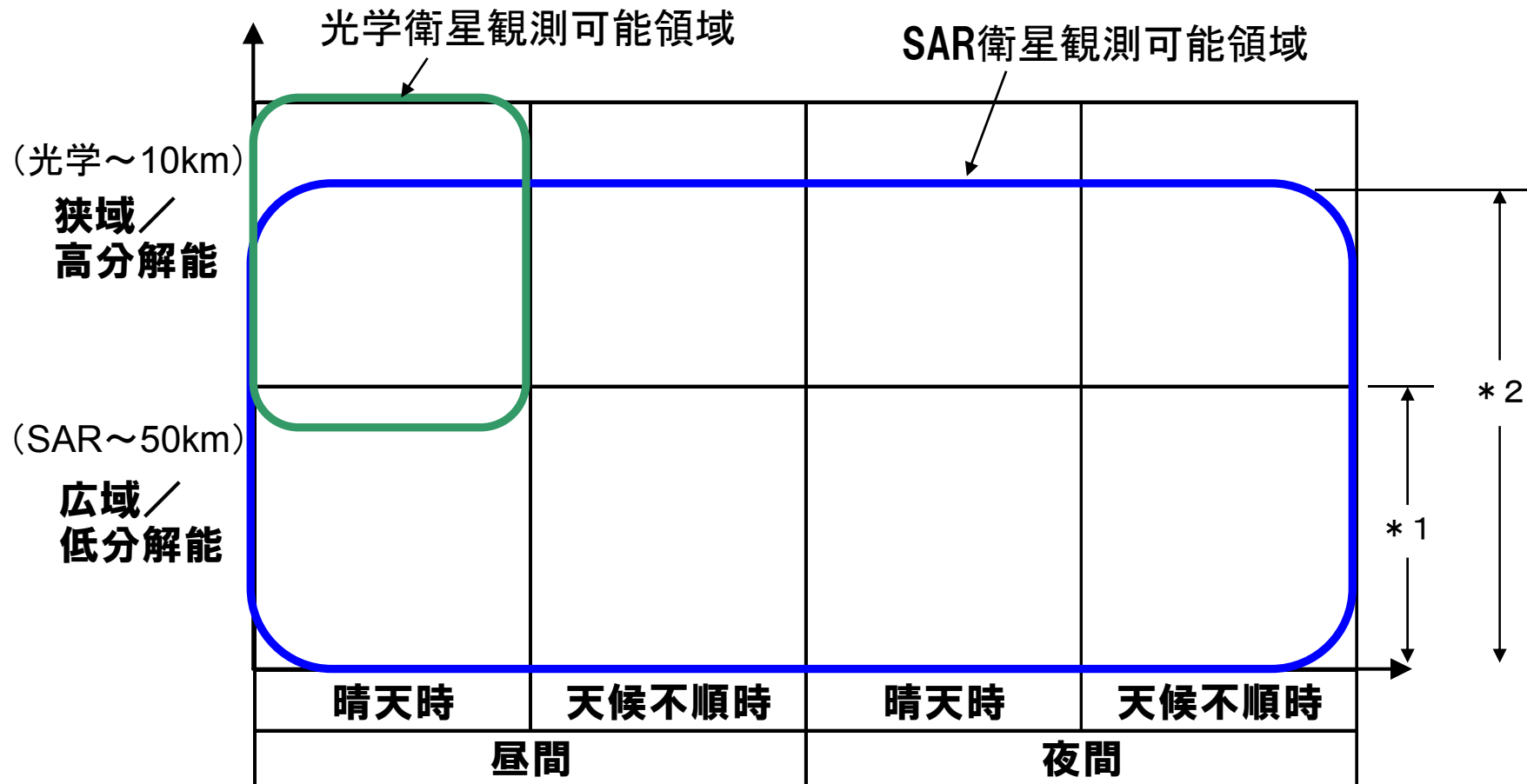
(SAR: Synthetic Aperture Radar)

- マイクロ波やミリ波などの電磁波を用いて、2次元/3次元の画像情報を取得するレーダ。
- 主として、人工衛星や航空機に搭載。
- 使用するアンテナを凌ぐ性能を“合成開口技術”で実現している。



光学衛星とSAR衛星の観測可能領域の違い

光学衛星は昼間しか観測できないのに対し、SAR衛星では夜間も観測できる



* 1 : Strip Map／Scan SARモードにて、広観測域を昼夜間・天候によらず観測可能。(～50km)

* 2 : 周波数帯域制約などのため、光学画像ほどは分解能を上げることはできないが、全天候対応が可能となり、光学衛星の補完となる。

Strip Map: アンテナビーム固定で衛星進行方向に連続して観測。

Scan SAR: アンテナの指向方向をエレベーション方向(衛星進行方向とは直行する方向)に順次切り換えながら観測。

SAR衛星の特徴(まとめ)

1. 全天候型

マイクロ波を使用すれば、悪天候下でも、高高度から雨雲を透過して、地上や海上を観測できる。噴煙も透過。

2. 昼夜間運用可能

夜間でも昼間と同じように観測できる。(アクティブセンサの特徴)

3. 高分解能

高い分解能が得られるだけでなく、アンテナと目標物(ターゲットとの距離が離れても、分解能が劣化しない。

4. 周波数, 偏波, 入射角を変えると、目標物のより多くの情報を取得できる。



【SAR衛星の観測活用シーン】

- 光学画像に加え、SAR偏波情報を用いた、土地被覆・利用の識別
- 光学画像に加え、SARの移動体検知機能の活用
- 光学画像に加え、海上のオイルスピル検出・重畳
- 光学画像の中から不法投棄物体(金属等の強反射物体)の検出

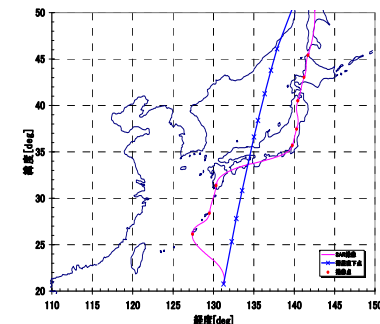
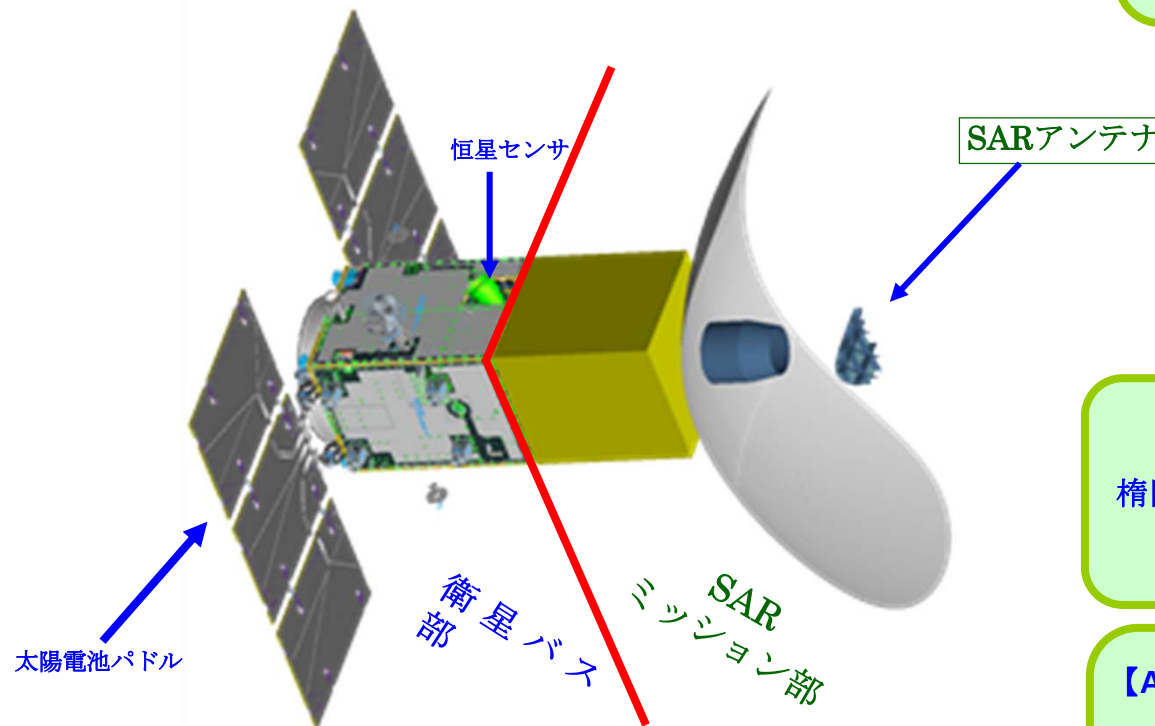
超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発 (ASNARO-2プロジェクト)

【高性能なSARミッション】

- 最高1.0mの超高分解能
- 中型大型 Xバンド合成開口レーダ衛星に比肩する性能を有する。

【多地点・高頻度観測能力】

- 電力・熱設計・軌道の最適化で
周回最大10地点 or 最大2分
- 大容量80GByteデータレコーダに
最大約25シーン記録
- 緊急時には日本周辺で平均1日以内の観測周期



【小型アンテナ】

楕円形カセグレンアンテナで小型化を実現、
小型ロケットに搭載可能

【ASNAROとのコンステレーション観測と SARに適した軌道設定】

- 高画質・ASNAROとの協調観測・
軌道寿命5年以上・多頻度観測に対応した
高度505km
- 夜間観測可能で大電力が必要なSARに適した
Dawn Dusk軌道

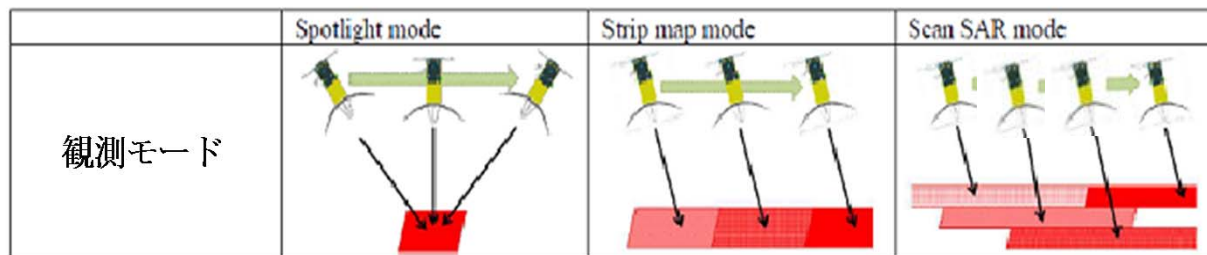
【ASNAROの小型衛星標準バスNEXTAR-300Lの後継機】

- 高機能、小型・軽量、低コスト・短納期、ASNAROとの連携(地上システム共用)を実現
- レーダに対応してミッション供給電力の大電力化

B. 3.目標

項目	目標・指標(中間評価時点)	目標・指標(事後評価時点)	設定理由・根拠等
超高分解能レーダセンサ(SAR)	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の設計を完了する。	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。	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。
小型衛星バス	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。	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。	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。
パルスTWT A	SAR センサに搭載する高出力増幅器の設計を完了する。	SAR センサに搭載する高出力増幅器を開発する。	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
短納期の仕組み	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。	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＝機器製造着手～衛星システム試験完了迄】	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。
国内ロケットへの適合	イプシロンロケットへの適合性確認を完了する。	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。	小型衛星の打上げ手段として確保する。
宇宙実証	運用準備を開始する。	軌道上実証を実現する。	平成28年度の軌道上実証に向けて運用準備を開始する。

超高分解能 合成開口レーダ (SARセンサ)

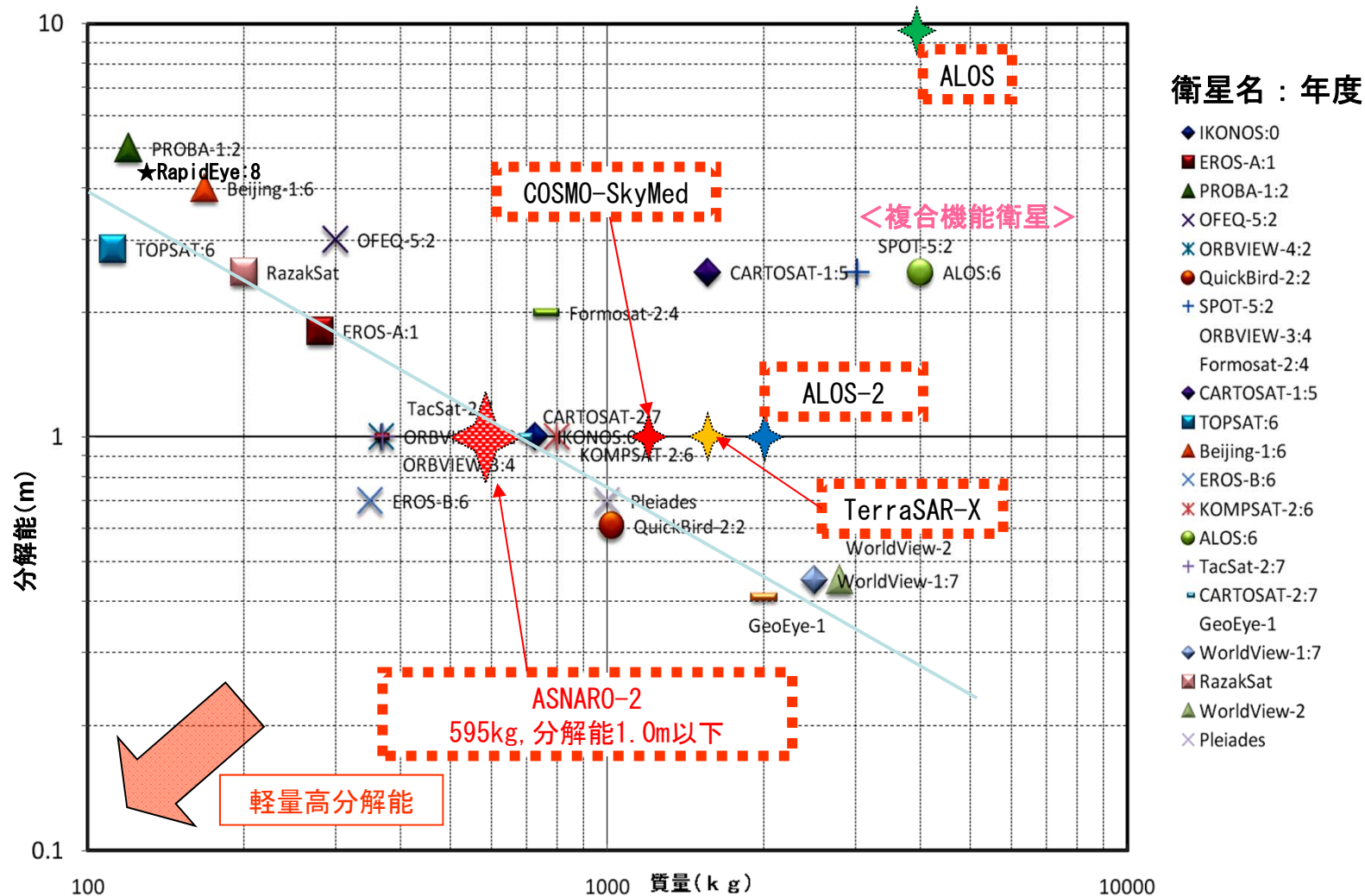


分解能1m未満の合成開口レーダの設計を完了した

項 目	設計結果	備 考
センサの種類	合成開口レーダ(SARセンサ)	
分解能	スポットライト:1m以下 * ストリップマップ:2m以下 スキャンSAR:16m以下	* 観測時間は、モード1が 4.4sec、モード2が10sec
観測幅	スポットライト:10km以上 ストリップマップ:12km以上 スキャンSAR:50km以上	
撮像範囲	オフナディア角 15-45deg	
偏波機能	HH or VV	2 偏波 (選択可能)
データ圧縮	1/2、1/4、非圧縮	
量子化ビットレート	8bit	

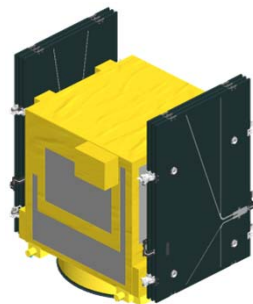
- スポットライトモード: 高い解像度を利用して都市化状況の把握、安全保
障関連用途(船舶の安全航行等)の利用を想定
- ストリップマップモード: 広域を観測する用途として自然災害監視(火山活動
(スキャンSARモード) 土砂崩れ)、資源探査(森林・鉱山)、温暖化(氷河)
監視など、対象物の経年変化の観測を想定
- 画像の需要としては高解像度画像(スポットライトモード観測)が多い。
- SAR観測時には衛星本体に搭載しているアンテナを観測対象に向けるために 衛星
本体を姿勢制御 (ボディポインティング)をすることを特徴としている。

衛星質量と分解能の相関関係



SARセンサに関しては、小型衛星への搭載例が少ないため顕著な高分解能トレンドは見えてこないが、今後の技術進歩によって一定の傾向を示すと考えられる。

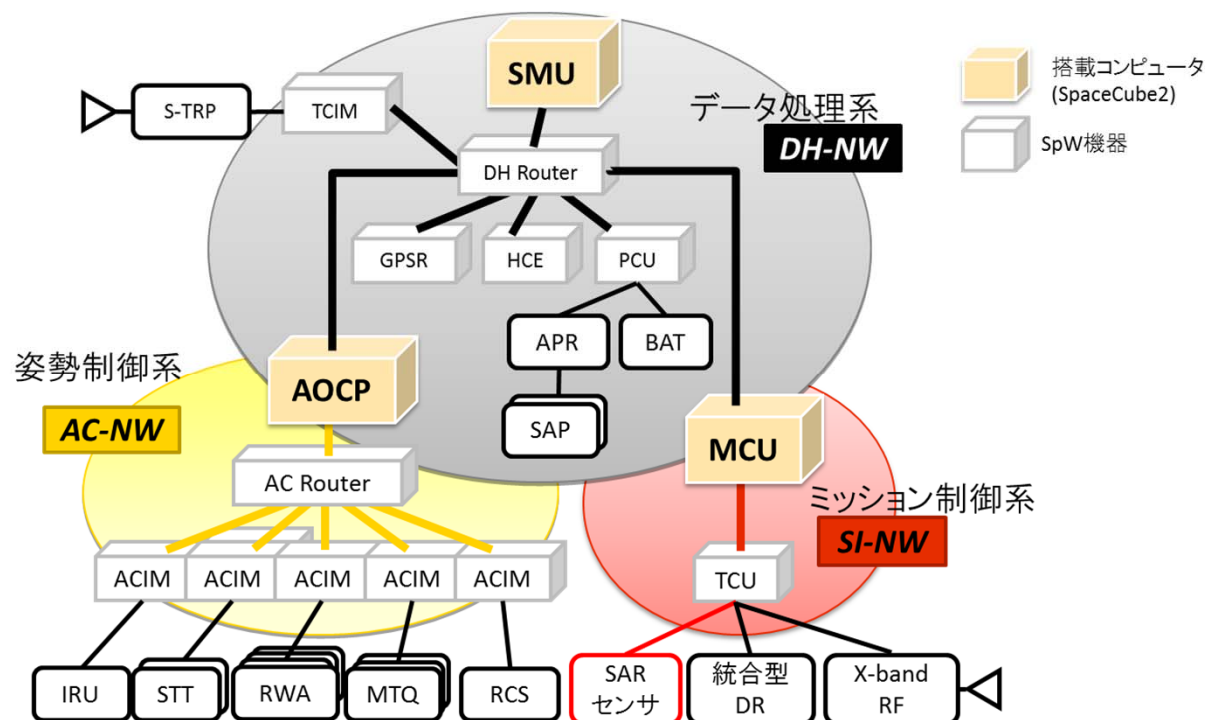
小型 衛星バス



ASNARO（光学衛星）とバスを共通化

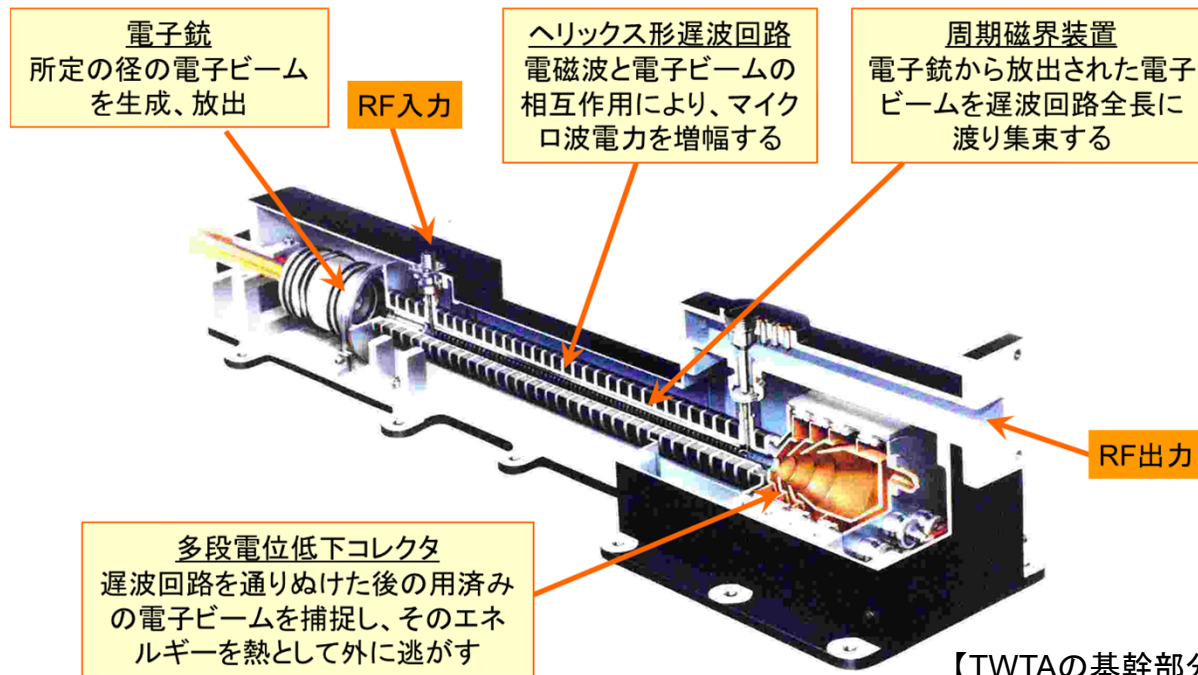
ASNARO-2はASNAROのバス と同じコンポーネント、ネットワーク構成、運用性を備え、ミッションとしては全天候観測が可能なレーダー衛星（バス）として設計を完了した。

打上	2017年（予定） 国内ロケットに適合 太陽同期準回帰軌道（高度505km）
軌道	軌道傾斜角：97.4° 降交点通過太陽地方時刻：6時
地上局（候補）	国内商用地上設備および可搬局、海外局
運用期間	5年
質量	・バス 305 kg（推葉除く） ・ミッション 245 kg（最大質量） ・推葉 45 kg（最大搭載可能質量） <TOTAL> 595 kg
電力	発生電力： 1300 W（5年後） ミッション供給電力： 1550 W（BAT供給）



パルスTWTAの開発

小型SAR衛星実現のためにはSARミッションの省電力化が必要となる。最小の消費電力で、大きな高周波エネルギーを放射するためのパルスTWTA(Traveling Wave Tube Amplifier:進行波管増幅器)の設計が完了した。



【TWTAの基幹部分となる進行波管増幅器TWT】

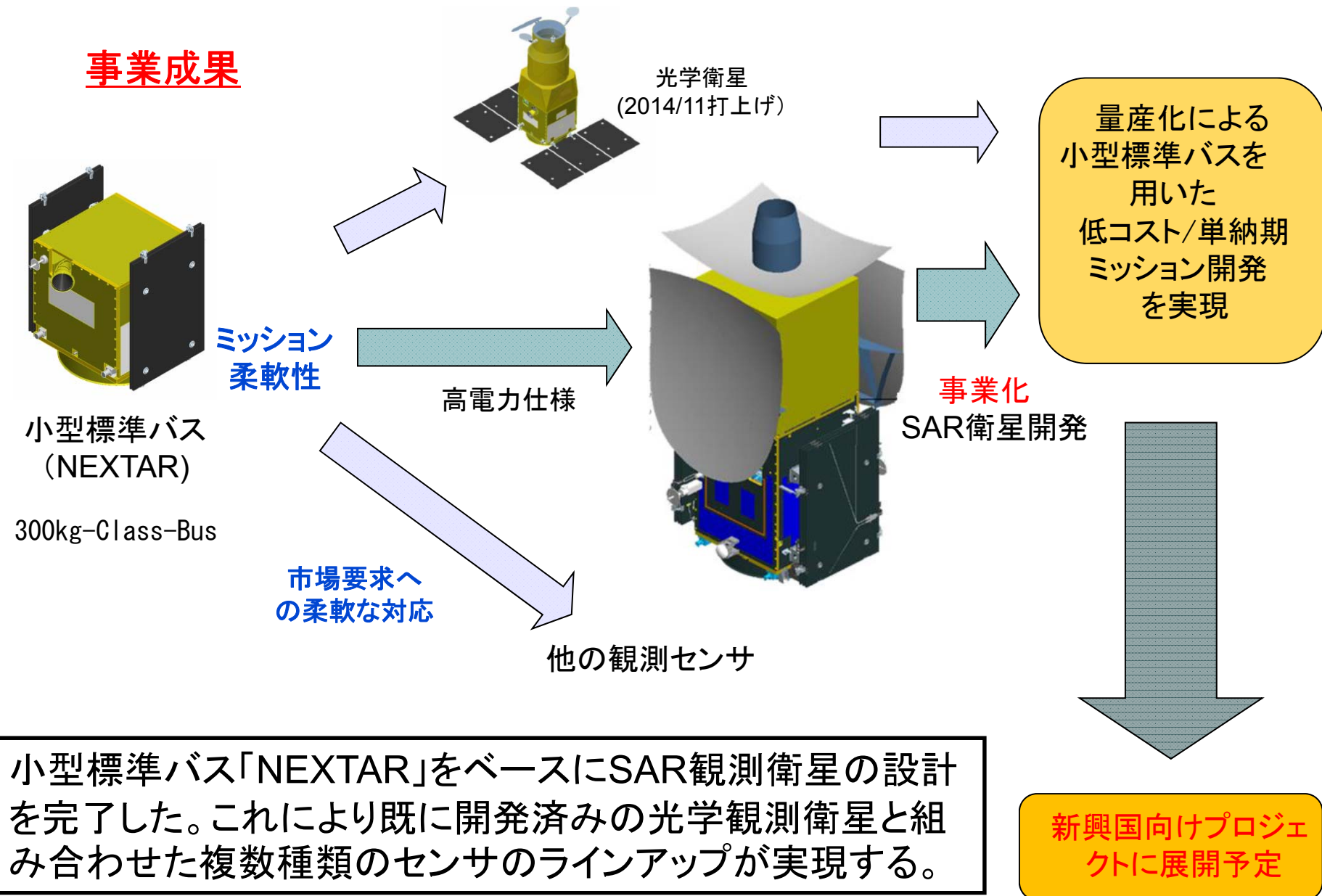
レーダは衛星から大きな送信電力を持つ高周波エネルギー(電波)を放射し、地表ターゲットからの反射波を検出して観測を行う。

既存の電源システムを変えずに、大電力出力に対応するためにパルスTWTAの採用をおこなった。

B. 4.成果、目標の達成度

項目	目標・指標(中間評価時点)	成果	達成度
超高分解能センサ	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の設計を完了する。	分解能 1m 未満の合成開口レーダの設計を完了した	達成
小型衛星バス	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。	推進系に燃料を充填した状態で 350kg 以下の質量となる大電力仕様の小型衛星バスの設計を完了した。バス機器については現在製造中のフェーズにある。	達成
パルス TWT A	SAR センサに搭載する高出力増幅器の設計を完了する。	小型衛星搭載用の高出力増幅器の設計が完了した。	達成
短納期の仕組み	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。	【未達成:理由】他国からの部品調達の手続きが長期化したため、製造着手が予定より遅延し現時点で製造中機器がある。 #機器製造および試験完了予定(2016 年 2 月) 但し、新しい宇宙システム対応の標準ネットワーク方式を採用することで、変更に対してはソフトウェアの変更で対処が可能になったためバス機器のリピート生産が可能になり、設計変更により必要であった費用やリードタイムが圧縮でき、それにより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、という仕組みは確立した。	未達成
国内ロケットへの適合	イプシロンロケットへの適合性確認を完了する。	打上げ機に関して、2017 年打上げ対応可能なロケットとしてイプシロンロケットの適合性確認が完了した。これにより打上げ機としてイプシロンロケットを選定した。	達成
宇宙実証	運用準備を開始する。	運用準備を開始した。	達成

B. 5.事業成果、波及効果



波及効果まとめ

- ✓ASNARO-2開発において小型標準バスに搭載されている機器の国産化率80%以上を達成
⇒ 中小企業を活用(※)することで日本の産業活性化に貢献する。
 ※ アンテナ駆動モータ、衛星パネル生産を中小企業に委託
- ✓衛星システム海外拡販に向けて、海外訪問活動を実施。(P.16)
⇒ 新興国向けプロジェクトによる衛星製造、地上設備構築、打上、初期運用サービス提供を
 「システムパッケージ販売」として展開する。
- ✓この売上に加えてデータ利用事業を拡大することで、投入された資源量以上の成果及び波及効果が
 得られることが期待される。(P.16)

波及効果詳細

システムパッケージ販売と地球観測データ利用事業の拡大

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。

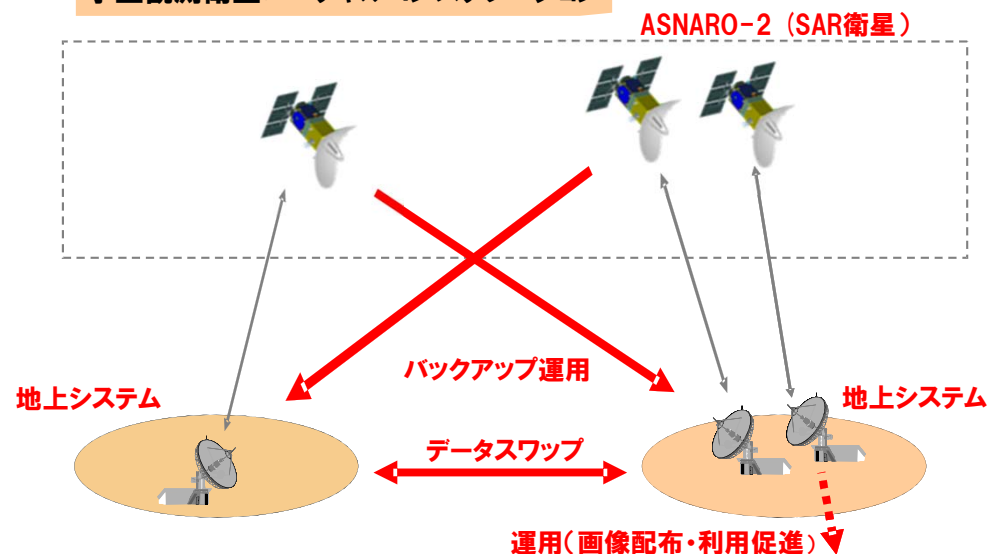
小型観測衛星システムパッケージ販売



- ✓(ASNAROの成果を含め)ASNARO-2の成果を小型標準バス「NEXTAR」という名称で製品化する
- ✓データ利用志向の中～上級レベルの新興国ユーザを主なターゲットに、「NEXTAR」を使用した小型観測衛星システムのパッケージ販売事業を推進する
- ✓多様な観測ミッションラインアップにより、海外拡販活動を行う

新興国への衛星システムパッケージ販売

小型観測衛星バーチャルコンステレーション



- ✓SAR観測衛星のコンステレーションにより、観測画像のデータ利用事業を推進する(防災・災害監視、森林監視、資源探索等)
⇒ 各国が1衛星ずつ所有することでバーチャルなコンステレーションを実現する。
- ✓SAR観測衛星コンステレーションとのデータスワッピングサービス等により、新興国ユーザへの小型SARによる地球観測衛星システムのパッケージ販売事業を促進する

B. 6.開発マネジメント・体制等

日本電気株式会社

・研究項目：

- (1) 標準的小型衛星バスの開発・製造
ASNAROバス(NEXTAR)を活用した
衛星システム及び衛星バスの開発
- (2) パルス型高出力増幅器(パルスTWTA)の
開発・製造
- (3) 地上システム開発・製造
 - ①(1)の開発に伴う地上システム(管制、データ
受信局)の開発
 - ②SAR固有部の開発
- (4) 国内ロケットへの適合確認
- (5) 宇宙実証
(1)～(3)に伴う衛星システムの軌道上実証

三菱電機株式会社

・研究項目：

- (1) 搭載ミッション機器の開発
SARミッションサブシステムの開発・製造
- (2) SAR固有部開発・製造
- (3) 宇宙実証
(1)(2)に伴うSARミッションの軌道上実証

今後の研究開発スケジュール

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)
アスナロ2号 (ASNARO-2) 開発 [経済産業省]		運用 [経済産業省]		

▲
打ち上げ

B. 7. 評価

B. 7-1. 評価検討会

評価検討会名称	宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会	
評価検討会委員	座長	建石 隆太郎 国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター長 教授
	委員	澤谷 邦男 国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部 レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長 中山 裕則 学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授 橋本 英一 元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長 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

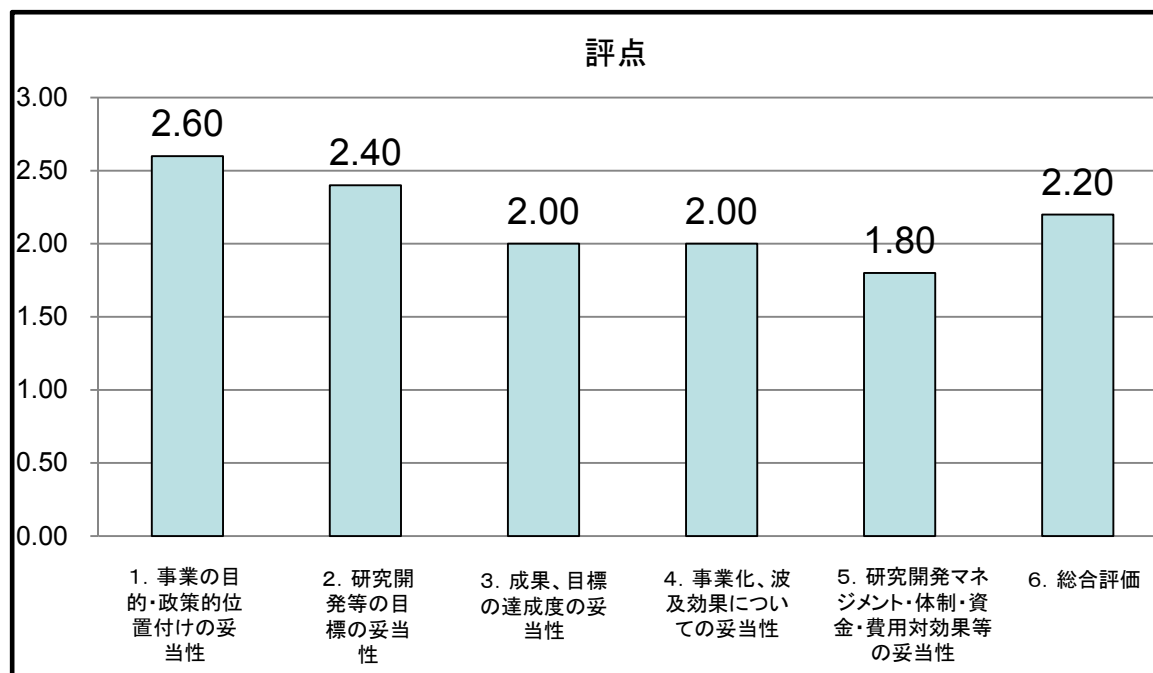
B. 7-2. 総合評価(コメント)

- 小型、低コスト、かつ高性能な合成開口レーダ衛星の開発は我が国宇宙産業の国際競争力強化に極めて重要であり、事業の目的・政策的位置付けは妥当である。
- 開発目標として、光学衛星「ASNARO-1」の成果を活かすよう、ASNARO-1のバスに適合した設計としてバスの共通化を図り、低価格化と500kg級衛星のシリーズ化を目指している点など、適切に設定されている。
- 研究開発の進捗は、合成開口レーダの心臓部とも言えるパルスTWTAを設計し、小型、省電力で分解能1m未満という高性能の小型Xバンド合成開口レーダの設計・開発が完了しているなど、部品調達の遅れによる継続中のものを除けば個別事項は概ね達成されており、順調な進捗状況であると言える。
- 今後、実施される予定の宇宙実証においては、衛星開発者目線とならないよう、ユーザーとデータ利用方法を想定して行うようにすべきである。さらに、これまで研究開発を実施したLバンドSAR(PALSAR)との観測特徴の比較や、ASNARO-1衛星との協調観測についても検討すべきである。
- また、研究開発終了後に海外展開を実現していくには、システム全体でのコスト等も重要であり、事業C「小型衛星群等によるリアルタイム地球観測網システムの研究開発」と合わせた検討や、運用技術者育成の検討も必要と考えられる。
- 開発・製造の短縮化については、バス機器製造から試験完了までの期間について1年という数値が達成できるのか検証し、未達の場合には今後の課題を抽出することが求められる。
- 今回開発するTWTAは単体の輸出も可能な競争力のあるものと考えられ、従来のものと比較しどの程度小型・省電力化が達成できたかを数値で示すことが望ましい。

B. 7-3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト中間評価において、評点法による評価を実施した。

○「5. 」については、部品調達の遅延により目標未達成となった項目があったため、評点が2点を下回った。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

B. 8. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- これまで日本の宇宙関連産業が蓄積してきた人工衛星/センサの開発、運用、解析の技術を継承しながら発展させるという点から、人工衛星の高分解能化や高頻度観測、その高精度かつ高速な運用・処理・解析に資する技術の開発についての検討が必要と考えられる。また、輸出が期待される国々のニーズに即した技術の開発についても検討することが重要と考えられる。

具体的には、例えば、

- 複数衛星/センサによる高頻度観測が可能となるような小型化かつ低コストの高機能衛星/センサ技術の開発(本格的な「小型高機能衛星」の実現)
- 資源探査に有効な高空間分解能・高スペクトルの光学センサの発展的な開発
- 小規模機関や民間などでも十分に利用可能な簡易衛星データ受信・処理・解析の一貫システムの開発
- 多様な地域に対応できる衛星データの高精度解析手法の開発

などが想定される。(A～H事業共通)

提言に対する対処方針

- 今後のリモートセンシング衛星に関わる研究開発に当たっては、これまでに培われた技術を承継・活用し、また、その技術を発展させるものとなるよう、検討を行いながら、取り組んでまいりたい。

輸出が期待される国々・ユーザーのニーズに即した研究開発についても、検討してまいりたい。

C 小型衛星群等によるリアルタイム地球観測網システムの研究開発 (終了時評価)

製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
株式会社パスコ

C－1 複数衛星運用のための統合運用 システムの研究開発

製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

C-1. 1. 小型衛星群等によるリアルタイム地球観測網システムの研究開発
(複数衛星運用のための統合運用システムの研究開発)の概要

概 要	我が国が保有する衛星システムにおけるコンステレーション衛星運用をコアとして、将来、日本製衛星システムを保有する各国のシステムとも連携を可能とする統合運用システムの研究開発を行う。
実施期間	平成24年度～平成26年度（2年1か月間）
予算総額	14.3億円(委託事業) (平成24年度:14.3億円)
実 施 者	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
プロジェクト リーダー	第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター 内藤 一郎(衛星利用運用センター長)

C-1. 2.プロジェクトの目的・政策的位置付け

目的

衛星画像は自然災害をはじめ、広域に渡る災害の被災状況を把握するのに役立ち、先の東日本大震災においても多くの衛星画像が利用された。

防災以外にも農業における収量予測や資源探査、環境監視など衛星画像は広範囲な分野において利用されているが、各国が保有する衛星は独自の計画に基づき運用が行われており、必ずしも効率的な連携がなされているわけではない。

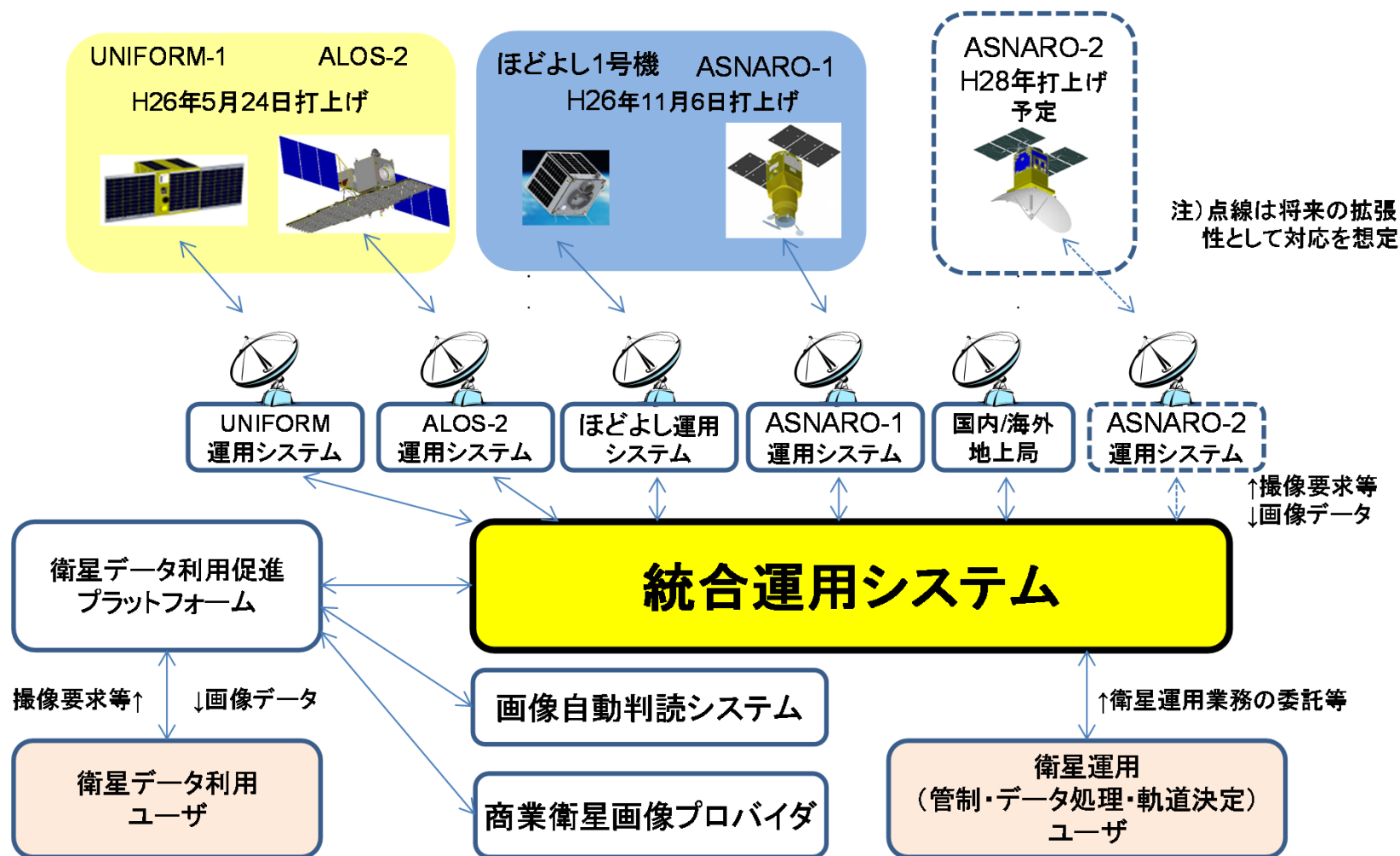
本研究開発では、我が国が保有する衛星システムにおけるコンステレーション衛星運用をコアとして、将来、日本製衛星システムを保有する各国のシステムとも連携を可能とする統合運用システムの研究開発を行う。

政策的位置付け

ベトナム、タイをはじめASEAN各国には、防災や農業管理等を目的とした衛星保有の機運が高まっており、現実には多くの国から我が国の衛星技術を活用した衛星システム構築の支援要請を受けている。これらの要請を束ねることで各国が拠出する経費以上のメリットを享受できるシステムとして、戦略的提案をASEAN諸国に提示することが重要である。各国の衛星をネットワーク化することにより、「高い撮像頻度」と「迅速な情報提供」を可能とするシステムを構築することが可能となり、ASEAN諸国のニーズだけでなく、我が国のユーザにも役立つシステムとすることが可能となる。

C-1. 3.目標

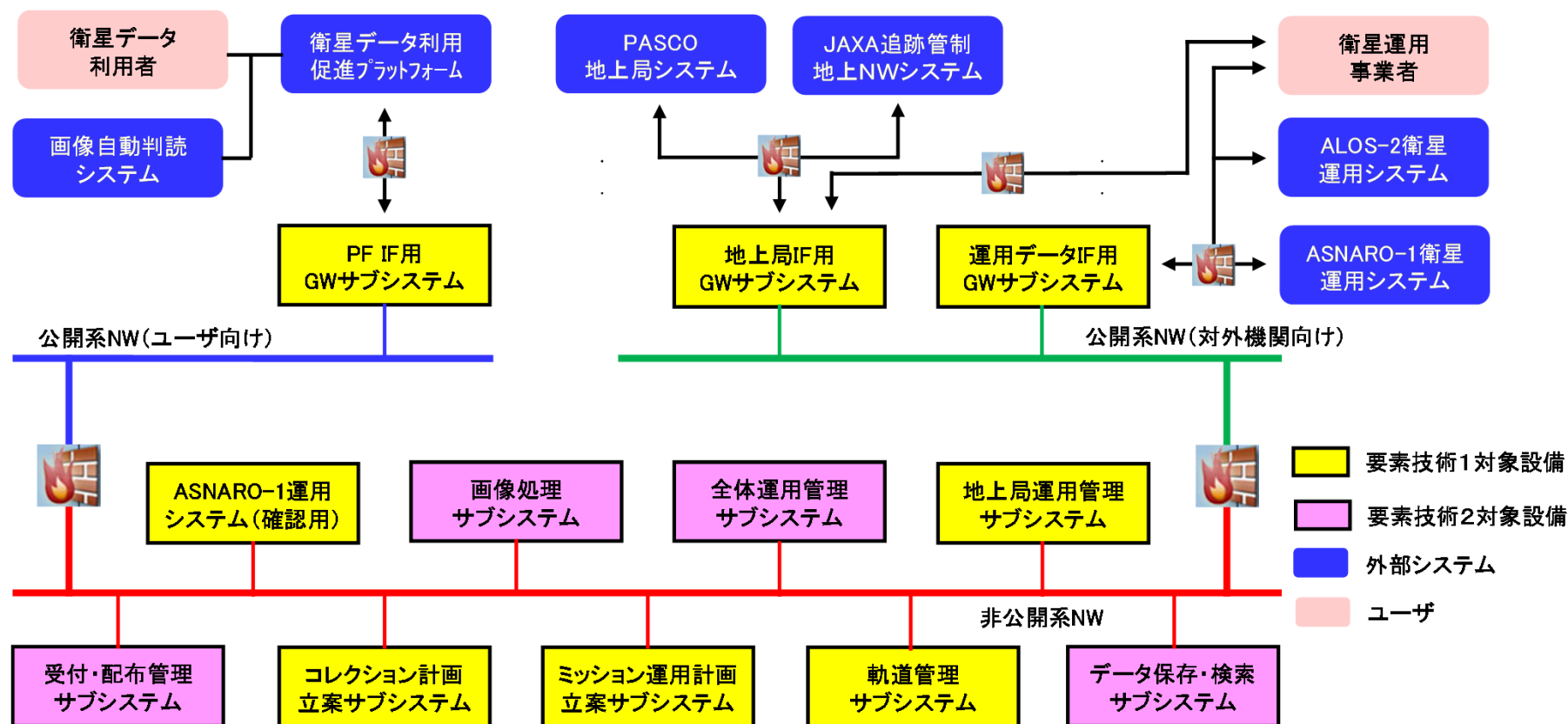
統合運用システムは、様々な衛星の運用システム、地上局システムとインタフェースを有し、本システムを経由して衛星運用、観測画像の提供サービスを提供する。



統合運用システムの位置づけ

C-1. 3.目標

統合運用システムは、下図に示すサブシステムにて構成され、外部システムとのインタフェースは、セキュリティを確保するためインタフェース先ごとにゲートウェイシステムを設置している。また、外部システムと各ゲートウェイ間及びゲートウェイと内部システム間にはそれぞれファイアーウォールを設置している。



統合運用システムの全体構成図

C-1. 3. 目標

複数の衛星が必要に応じて有機的に連携し、参加した全てのリソースを最大限活用し運用可能な衛星コンステレーションシステムとして、自律自動複数衛星管制システム及びニアリアルタイム・オンデマンドシステムの研究開発を行う。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
1. 自律自動複数衛星管制システムの開発	(1)複数衛星管制マネージメント(管制、軌道)機能の開発	(1)複数衛星の管制運用、軌道管理運用を実施するための機能を開発し、検証する必要がある。
	(2)複数衛星リソースマネージメント(撮像計画、予約)機能の開発	(2)複数衛星のリソースを管理し、各衛星の撮像計画を立案するための機能を開発し、検証する必要がある。
	(3)地上局マネージメント(複数局管理)機能の開発	(3)複数の地上局のリソースを管理し、各地上局の利用計画を立案するための機能を開発し、検証する必要がある。
	(4)高度なセキュリティ機能の開発	(4)複数衛星の運用、データを保全するため高度なセキュリティを有したシステムの設計が必要である。
	(5)高信頼性システムの開発	(5)複数衛星の運用及びデータ提供サービスを継続的に実施するため運用停止のないシステムの設計が必要である。

C-1. 3.目標

複数の衛星が必要に応じて有機的に連携し、参加した全てのリソースを最大限活用し運用可能な衛星コンステレーションシステムとして、自律自動複数衛星管制システム及びニアリアルタイム・オンデマンドシステムの研究開発を行う。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
2. ニアリアルタイム・オンデマンドシステムの開発	(1)複数同時画像処理機能の開発	(1)複数衛星で取得した観測データを同時に並行処理するための機能を開発し、検証する必要がある。
	(2)複数衛星データアーカイブ（分散、集中、同期）機能の開発	(2)複数衛星で取得した観測データを保存・管理し、適切に検索できる機能を開発し、検証する必要がある。
	(3)ターミナル方式、クラウド方式によるオペレーション機能の開発	(3)システムを構成する計算機を様々な機能で共有し、効率的にリソースを利用するとともに、共通的な端末から様々な運用を実施するための機能を開発し、検証する必要がある。

C-1. 4. 成果、目標の達成度

目標・指標とした各技術要素を開発し、システムに組み込み、各機能を連携させ、複数衛星の運用及びサービスに係る検証試験を実施し、統合運用システムの機能・性能を実証した。

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
1. 自律自動複数衛星管制システムの開発	(1)複数衛星管制マネージメント(管制、軌道)機能の開発	・ASNARO-1衛星管制システムを利用することにより衛星管制機能の統合運用システムへの組み込みを検証した。 ・複数衛星の軌道管理を実施するための軌道管理サブシステムを開発した。	達成
	(2)複数衛星リソースマネージメント(撮像計画、予約)機能の開発	・衛星のリソースを管理し、適切な撮像計画を立案するためのコレクション計画立案サブシステムを開発した。 ・各衛星の運用を立案するためのミッション運用計画立案サブシステムを開発した。	達成
	(3)地上局マネージメント(複数局管理)機能の開発	・複数の地上局のリソースを管理し、利用計画を作成する地上局運用管理サブシステムを開発した。	達成

C-1. 4.成果、目標の達成度

目標・指標とした各技術要素を開発し、システムに組み込み、各機能を連携させ、複数衛星の運用及びサービスに係る検証試験を実施し、統合運用システムの機能・性能を実証した。

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
1. 自律自動複数衛星管制システムの開発	(4)高度なセキュリティ機能の開発	・統合運用システム内部セキュリティを確保するためにインタフェースする相手方に応じたインタフェース用ゲートウェイサブシステムを開発した。 ・システム内のネットワークを公開系と非公開系に区分し、系間にファイヤーウォールを設置し、内部セキュリティを確保した。	達成
	(5)高信頼性システムの開発	・主要な機器や部品については、単一故障点を排除した高可用性とし、障害時の継続稼働を行うためのフォールトトレランス構成等を採用することで計画停止、自然災害等による停止を除き、99.9%の稼働率を達成するシステムを開発した。	達成

C-1. 4.成果、目標の達成度

目標・指標とした各技術要素を開発し、システムに組み込み、各機能を連携させ、複数衛星の運用及びサービスに係る検証試験を実施し、統合運用システムの機能・性能を実証した。

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
2. ニアリアルタイム・オンデマンドシステムの開発	(1)複数同時画像処理機能の開発	・様々な観測データを画像処理するための画像処理サブシステムを開発した。	達成
	(2)複数衛星データアーカイブ(分散、集中、同期)機能の開発	・各衛星の観測データを保存・管理するためのデータ保存・検索システムを開発した。 ・撮像した観測データ、処理された画像データを注文受付、配布管理するための受付・配布管理サブシステムを開発した。	達成
	(3)ターミナル方式、クラウド方式によるオペレーション機能の開発	・プライベートクラウド方式のシステム基盤を採用し、計算機リソースを効率的に使用するため、各プロセスを全体的に管理する全体運用管理サブシステムを開発した。	達成

統合運用システムの全体構成図を次ページに示す。

C-1. 4.成果、目標の達成度

統合運用システムは、JAXA地球観測センターに設置し、ASNARO-1、ALOS-2、ほどよし1号機、UNIFORM-1等の複数衛星及びJAXA地上局、パスコ地上局とのインタフェース試験を実施し、複数衛星の統合運用の実証を実施した、

下記の示す写真は、統合運用システムを構成するサーバ計算機(左図)と運用者が操作する運用端末(右)のものである。

サブシステム毎に計算機を整備するのではなく、数台の物理サーバー上に各サブシステムの機能を仮想実装し、計算機リソースを効率的に利用する構成となっている。



統合運用システムの整備状況

C-1. 5.事業化、波及効果

本システムを利用することにより、複数の衛星システムを連携させ、観測頻度の向上・センサの多様性による高鮮度かつ高付加価値プロダクトの迅速な提供が可能となり、衛星データ利用者の利便性向上が図られるのみならず、システム開発・運用に係るコスト削減効果も期待できる。

<システム開発費>

1衛星の地上システムを新規に開発した場合、約15億円程度の開発費が見込まれる（統合運用システムの開発費をベースとし、地上局の新規建設を除く）。統合運用システムに参画することにより、軌道管理やデータ保存、要求受付・配布等、共通システムを利用することにより、衛星個別で開発すべき機能が不要となり、1衛星あたり2～3割程度のコスト削減が期待できる。

<運用経費>

1衛星の運用経費は年間数億円程度が見込まれるが、以下の理由により2～3割程度のコスト削減が期待できる。

- 本システムに参画する地上局システムが利用可能
- 地上システムを構成する計算機を複数衛星ユーザで共有可能
- 複数衛星同時運用による運用者数の削減

C-1. 5.事業化、波及効果

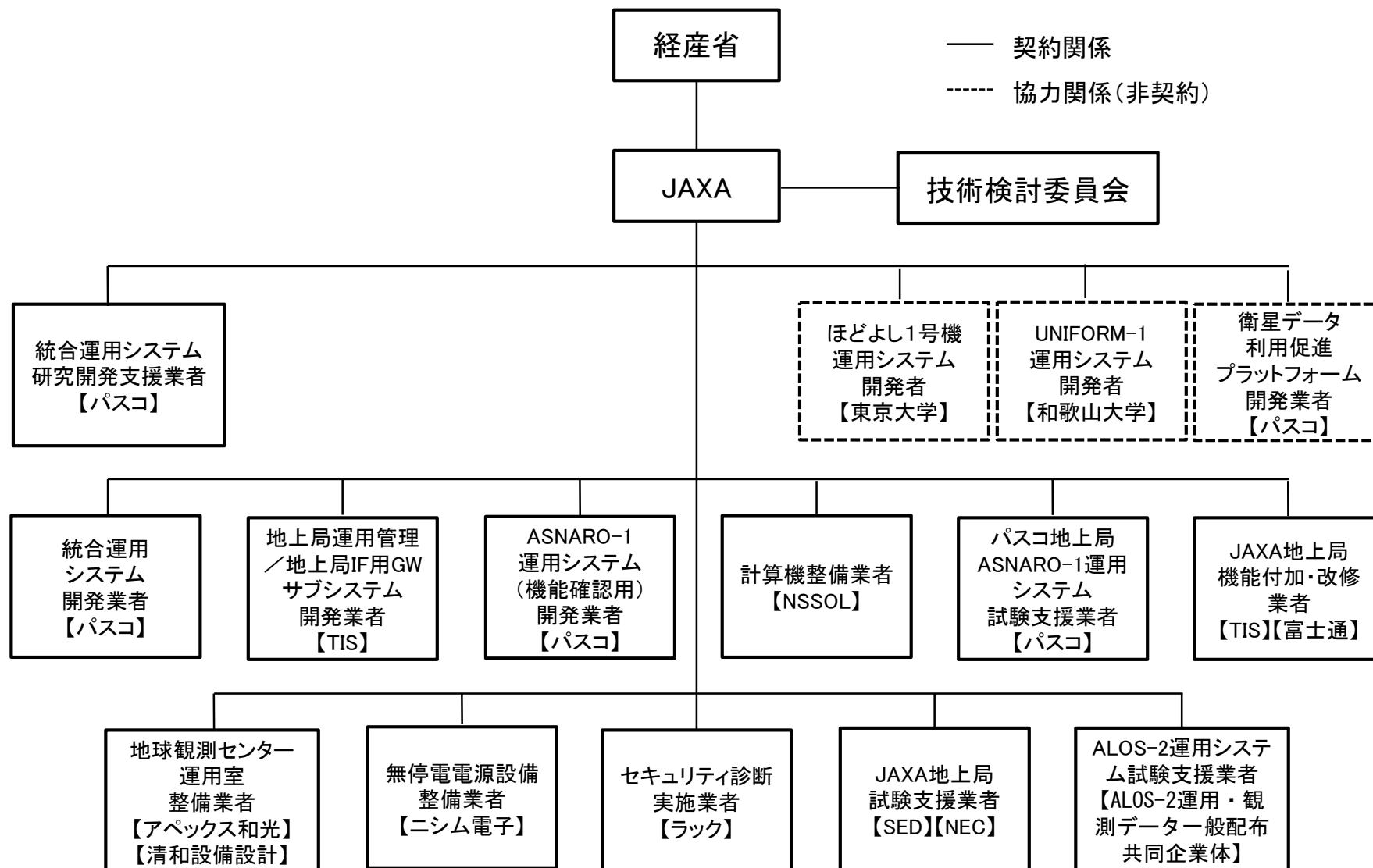
前ページのコスト削減効果は、1衛星プロジェクトにおける地上システム開発費、運用経費を用いた場合の一例であるが、統合運用システムに参画する衛星プロジェクトが増えるほど1衛星のあたり投資コストが安価となる。

これにより多くの衛星所有機関が本システムを利用することによりシステム規模が拡大するとともに多くのユーザが様々な衛星データを容易に利用可能となりユーザサービス向上が図られ、より一層の事業拡大が期待できる。

統合運用システムの機能・性能に係る実証は完了し、システムとして利用可能な状況にある。

今後は、民間事業者が、衛星運用及び観測データ提供業務において、統合運用システムを利用したビジネスを展開することが期待される。

C-1. 6. 研究開発マネジメント・体制等



C-2 画像自動判読システムの研究開発

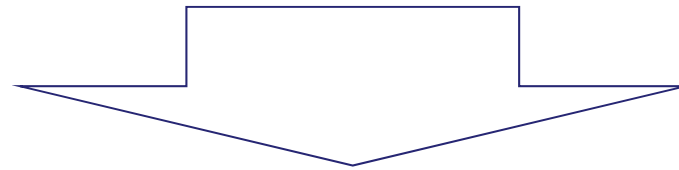
製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
株式会社パスコ

2. C-2. 1. 小型衛星群等によるリアルタイム地球観測網システムの研究開発 （画像自動判読システムの研究開発）の概要

概 要	本プロジェクトは、地球観測衛星から得られる大量の衛星画像に対して、利用者が必要とする地物の自動判読を高速に実施し、利用者に判読結果を最適な形で提供するためのシステムを開発する。
実施期間	平成24年度～平成26年度（2年1か月間）
予算総額	15.7億円（委託事業） （平成24年度：15.7億円）
実 施 者	株式会社パスコ
プロジェクト リーダー	株式会社パスコ 衛星事業部 新技術開発部 黒田 晃弘

2. C-2. 2.プロジェクトの目的・政策的位置付け

- ◆ 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)
- ◆ 宇宙基本法(平成20年5月28日)
- ◆ 宇宙基本計画(平成21年6月2日、宇宙開発戦略本部決定)



- ✓ 宇宙開発利用の推進
- ✓ 多様な宇宙システムの利用に係るアプリケーションの開発・実証の推進
- ✓ 衛星利用サービスの多様化の推進
- ✓ 観測に関する情報システム等の整備の推進
- ✓ 人工衛星等の整備・活用と分析方法の高度化

画像自動判読システムの開発の動機と目的

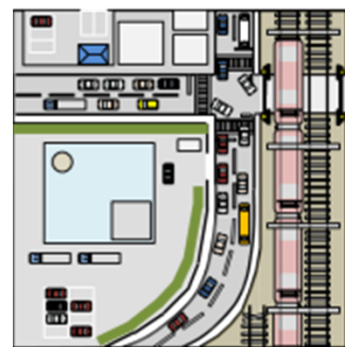
小型衛星の普及による
衛星数の増加

搭載センサの高度化による高分解能化

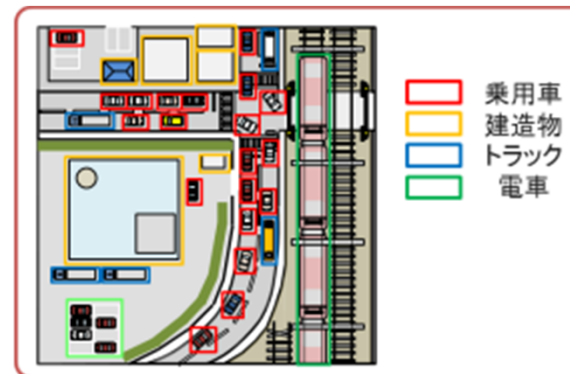
得られる画像（データ量）が加速度的に増加

大量のデータから、必要な情報を迅速に
抽出することが必要

人間が衛星画像から情報を抽出する際の暗黙知をコンピュータ自身が学習させ、コンピュータに高速かつ正確に情報（地物）を抽出（判読）させる



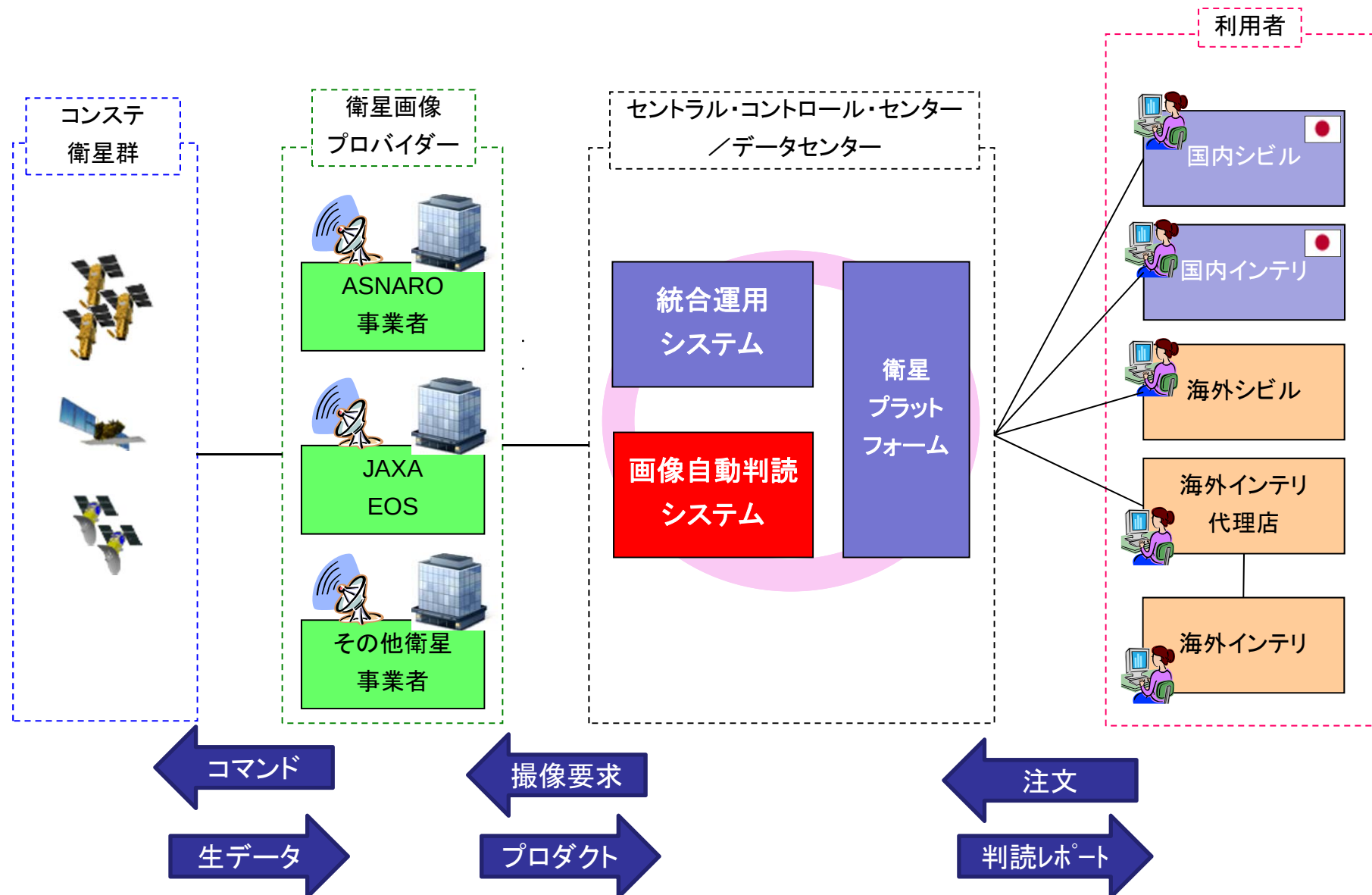
入力衛星画像



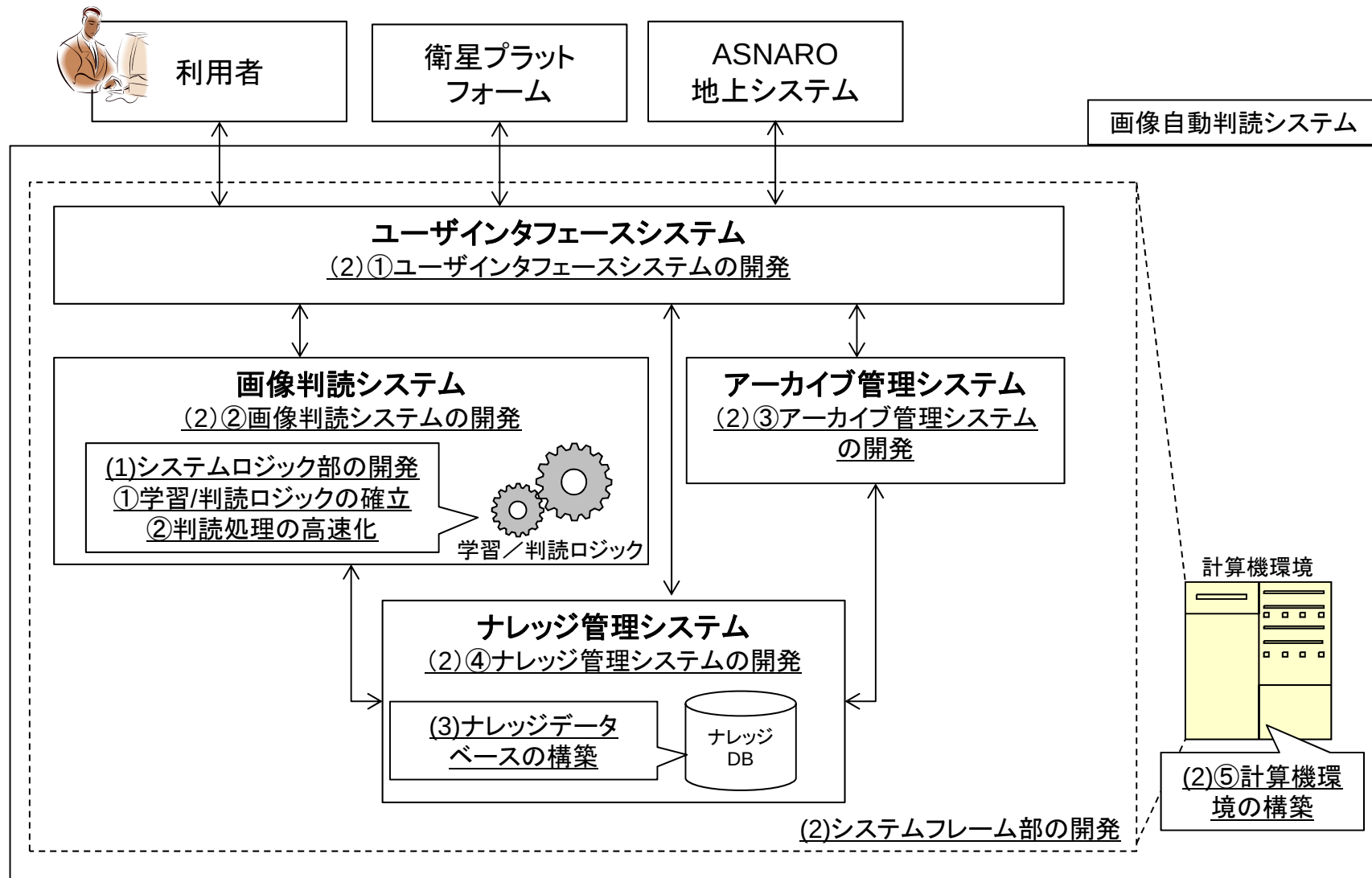
出力イメージ

乗用車
建造物
トラック
電車

画像自動判読システムの位置付け

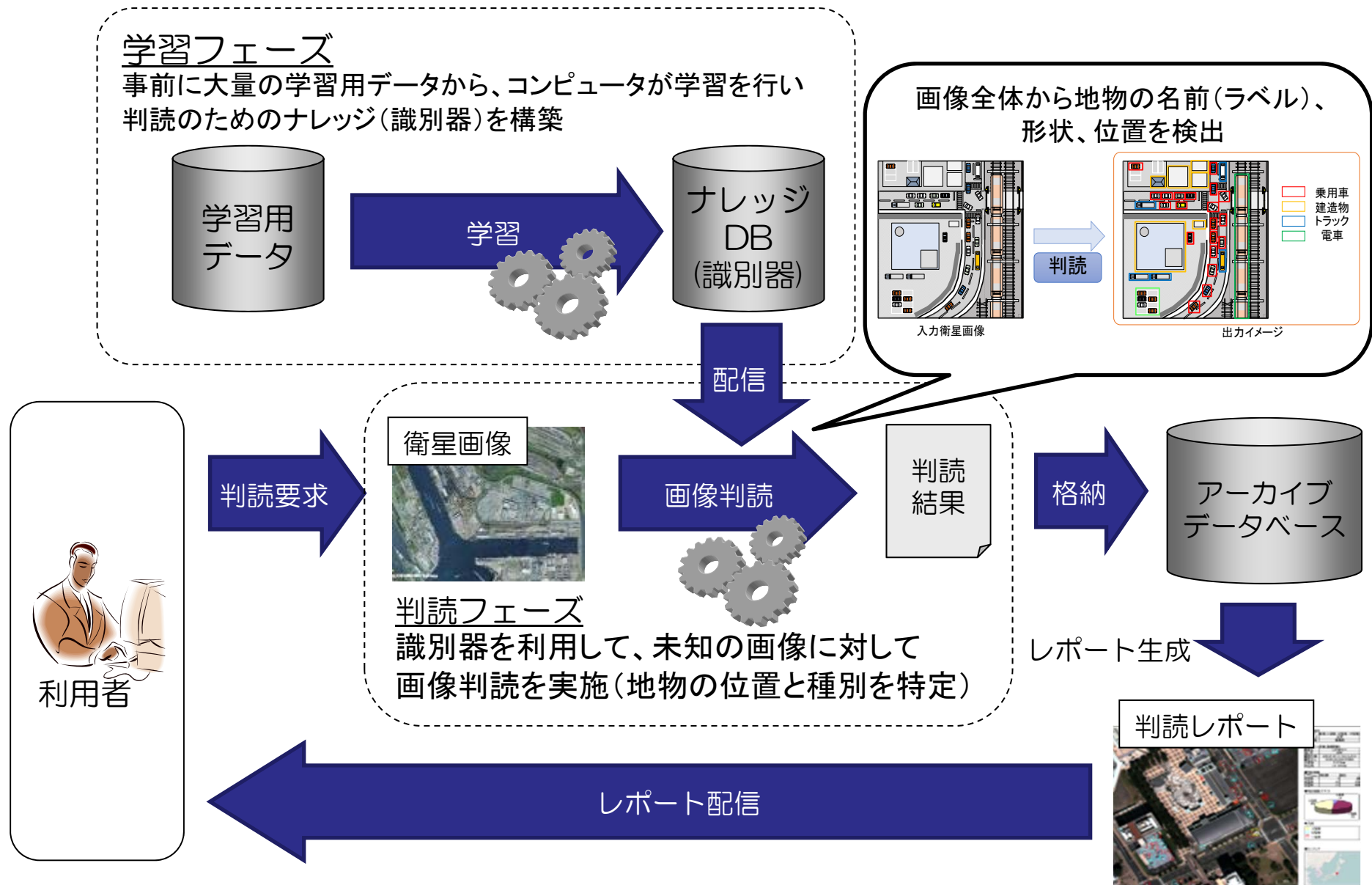


画像自動判読システムの全体像と要素技術



- (1)システムロジック部の開発: 画像自動判読のコアとなる判読ロジックの開発
- (2)システムフレーム部の開発: システムの骨格や外部とのインターフェース等の機能の開発
- (3)ナレッジデータベースの構築: コンピュータが学習を行うための学習データ等の整備

画像自動判読システムのサービスフロー



2. C-2. 3. 目標

地球観測衛星から得られる大量の衛星画像に対して、利用者が必要とする地物の自動判読を高速に実施し、利用者に判読結果を最適な形で提供するためのシステムを開発する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(1) システムロジック部の開発		
① 学習／判読ロジックの確立	画像から、コンピュータが地物の判読のための知識を自ら獲得（学習）し、未知の画像から地物の種類や位置を特定（判読）するためのロジックを確立する。 対象とする画像は、光学画像、合成開口レーダー画像及びその複合とし、画像中で視認できる様々な地物の判読に対応する汎用性の高いロジックを目指す。	衛星画像から地物の位置や種類を特定する確立された技術はなく、従来は人間の手作業にて実施されている。 大量に得られる衛星画像から、効率よく情報を抽出するためには、人間の作業をコンピュータに代替させる必要がある。また、利用者の幅広いニーズに対応するためには、衛星画像で視認できる様々な地物に対応した汎用性の高いロジックが必要である。
② 判読処理の高速化	光学画像、合成開口レーダー画像、光学／合成開口レーダー統合のそれぞれの判読処理が、3分以内に完了できるよう判読処理の高速化を行う。	サービスの価値の向上のためには、画像の入手から、短時間で判読結果（レポート）を利用者に提供する必要があり、判読処理の高速化は必要不可欠である。

2. C-2. 3. 目標

地球観測衛星から得られる大量の衛星画像に対して、利用者が必要とする地物の自動判読を高速に実施し、利用者に判読結果を最適な形で提供するためのシステムを開発する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(2) システムフレーム部の開発		
① ユーザインターフェイスシステムの開発	ウェブを介して、ワンストップで利用者へ判読サービス（画像の入手から判読レポートの提供）を提供するための機能を開発する。 開発にあたっては、利便性やシステムへのアクセスのし易さ等を考慮する。 【性能目標】 画面応答速度：1秒以内	幅広く判読サービスを提供するためには、ウェブへの対応は必要である。また、衛星画像の入手から判読レポートの提供までをワンストップで提供することにより、システムの価値の向上が期待できる。加えて、利便性を考慮すると、サービス画面の応答速度は短時間であることが望ましい。
② アーカイブ管理システムの開発	判読処理によって判読された大量の地物の情報を、分散データベースにて、高速に取り扱う機能を開発する。 【性能目標】 100万件のデータから10件のデータの検索及び抽出：1秒以内	判読結果のウェブ上への表示や、リアルタイムでのレポート作成機能の提供のためには、判読された大量のデータへのアクセスが必要となる。しかし、一般的なデータベースでは長い時間を要するため、利便性を考慮し、データベースの分散化等によるデータアクセスの高速化が必要である。

2. C-2. 3. 目標

地球観測衛星から得られる大量の衛星画像に対して、利用者が必要とする地物の自動判読を高速に実施し、利用者に判読結果を最適な形で提供するためのシステムを開発する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
③画像判読システムの開発	判読処理を行うための複数の計算機（処理ノード）に効率よく要求（ジョブ）を割り当て、短時間で判読処理を完了させるジョブスケジューリング機能を開発する。 【性能目標】 処理ノードへのジョブ割当：2秒以内 判読処理完了：3分以内	単位時間当たりの判読処理量を最大化し、かつ判読処理自体も短時間で完了させるためには、複数の計算機を効率よく運用する必要がある。そのためには、計算機と要求を管理するためのジョブスケジューリング機能が必要である。
④ナレッジ管理システムの開発	コンピュータが画像判読を実行する際のナレッジ（識別器）や、そのナレッジを生成するための学習用/評価用データを管理する機能を開発する。本機能は、システムの運用者が利用する機能であるため、運用性や、サービスの継続性を考慮して開発を行う。	識別器の生成には、大量の学習用データ/評価用データが必要である。また、複数の地物の判読に対応するためには、複数のナレッジ（識別器）が必要である。判読サービスを継続的に提供するためには、これらの情報をより簡便に管理でき、サービスの拡張にも対応できることが望ましい。

2. C-2. 3. 目標

地球観測衛星から得られる大量の衛星画像に対して、利用者が必要とする地物の自動判読を高速に実施し、利用者に判読結果を最適な形で提供するためのシステムを開発する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
⑤計算機環境の構築	画像自動判読システムを動作させるための計算機環境の設計・構築を行う。 設計にあたっては、本システムを構成する各システムの処理特性や処理性能、運用性を十分考慮する。	各種性能要求を満たしつつ、計算機リソースを効率的に利用するためには、合理的な設計に基づいた計算機環境が必要である。また、判読サービスを継続的に提供するためには、計算機の管理に関わるコストの最小化が必要である。
(3)ナレッジデータベースの構築	衛星画像から、システムロジック部の開発等に利用する学習用／評価用データの整備を行う。	短期間で効果的、効率的に研究開発を行うためには、大量の学習用データ／判読用データを整備する必要がある。

2. C-2. 4. 成果、目標の達成度

高分解能光学衛星画像及び高分解能合成開口レーダー衛星画像から、対応衛星画像で目視認識可能な地物や土地被覆を判読するシステムを開発した。

要素技術	目標・指標	成果	達成度
(1) システムロジック部の開発			
① 学習／判読ロジックの確立	画像から、コンピュータが地物の判読のための知識を自ら獲得（学習）し、未知の画像から地物の種類や位置を特定（判読）するためのロジックを確立する。対象とする画像は、光学画像、合成開口レーダー画像及びその複合とし、画像中で視認できる様々な地物の判読に対応する汎用性の高いロジックを目指す。	機械学習の一つであるディープラーニング手法をベースとして、画像中で視認できる地物や被覆に対する汎用的な判読ロジックを確立した。また、精度評価を行い、十分に実用に足る精度を有することを確認した（建造物で80%以上）。	達成
② 判読処理の高速化	光学画像、合成開口レーダー画像、光学／合成開口レーダー統合のそれぞれの判読処理が、3分以内に完了できるよう判読処理の高速化を行う。	複数の処理ノード、マルチコアCPU、GPGPUを活用した並列分散処理を判読処理に適用することにより、3分以内の判読処理完了を実現した。	達成

2. C-2. 4.成果、目標の達成度

高分解能光学衛星画像及び高分解能合成開口レーダー衛星画像から、対応衛星画像で目視認識可能な地物や土地被覆を判読するシステムを開発した。

要素技術	目標・指標	成果	達成度
(2) システムフレーム部の開発			
① ユーザインターフェイスシステムの開発	ウェブを介して、ワンストップで利用者へ判読サービス（画像の入手から判読レポートの提供）を提供するための機能を開発する。 開発にあたっては、利便性やシステムへのアクセスのし易さ等を考慮する。 【性能目標】 画面応答速度：1秒以内	ウェブを介して判読サービスを利用者に提供するためのユーザインターフェイスシステムを設計、製造し、試験を行った。ワンストップでサービスを提供するため、衛星プラットフォームやASNARO地上システム等の外部システムとの連携機能を具備した。加えて、利便性やシステムへのアクセスのし易さの向上のため、ウェブGIS上で判読結果表示の対応およびタブレット端末への対応を実施した。 【性能】 画面遷移：0.6秒	達成
② アーカイブ管理システムの開発	判読処理によって判読された大量の地物の情報を、分散データベースにて、高速に取り扱う機能を開発する。 【性能目標】 100万件のデータから10件のデータの検索及び抽出：1秒以内	判読結果が格納されるデータベースの制御及び管理を担う、アーカイブ管理システムを設計、製造し、試験を行った。 高速なデータアクセスを実現するため、データベースの分散化を行った。設計にあたっては、分散データベースに求められる要件（速度、可用性等）を整理し、プロトタイピングを行うことで、データベース管理システムの選定を行った。 【性能】 100万件のデータから10件のデータの検索及び抽出：0.0137秒	達成

2. C-2. 4.成果、目標の達成度

高分解能光学衛星画像及び高分解能合成開口レーダー衛星画像から、対応衛星画像で目視認識可能な地物や土地被覆を判読するシステムを開発した。

要素技術	目標・指標	成果	達成度
③画像判読システムの開発	判読処理を行うための複数の計算機（処理ノード）に効率よく要求（ジョブ）を割り当て、短時間で判読処理を完了させるジョブスケジューリング機能を開発する。 【性能目標】 処理ノードへのジョブ割当：2秒以内 判読処理完了：3分以内	処理ノードの管理および判読学習処理の実行と制御及び管理を担う、画像判読システムを設計、製造し、試験を行った。 複数の判読処理ノードの監視、判読要求の分散発行、進捗モニタリング等を行うための、ジョブスケジューラー機能と、システムロジック部の研究結果による仕様変更のインパクトを最小限にするための汎用処理フレームワークを具備した。 【性能】 処理ノードへのジョブ割当：1.0秒 判読処理完了：113秒/40秒/140秒（光学/SAR/統合）	達成
④ナレッジ管理システムの開発	コンピュータが画像判読を実行する際のナレッジ（識別器）や、そのナレッジを生成するための学習用/評価用データを管理する機能を開発する。本機能は、システムの運用者が利用する機能であるため、運用性や、サービスの継続性を考慮して開発を行う。	コンピュータが画像判読を実行する際のナレッジ（識別器）の管理を担う、ナレッジ管理システムを設計、製造し、試験を行った。継続的かつ効率的な識別器の精度の向上を実現するため、判読結果からのフィードバック機能を具備した。	達成

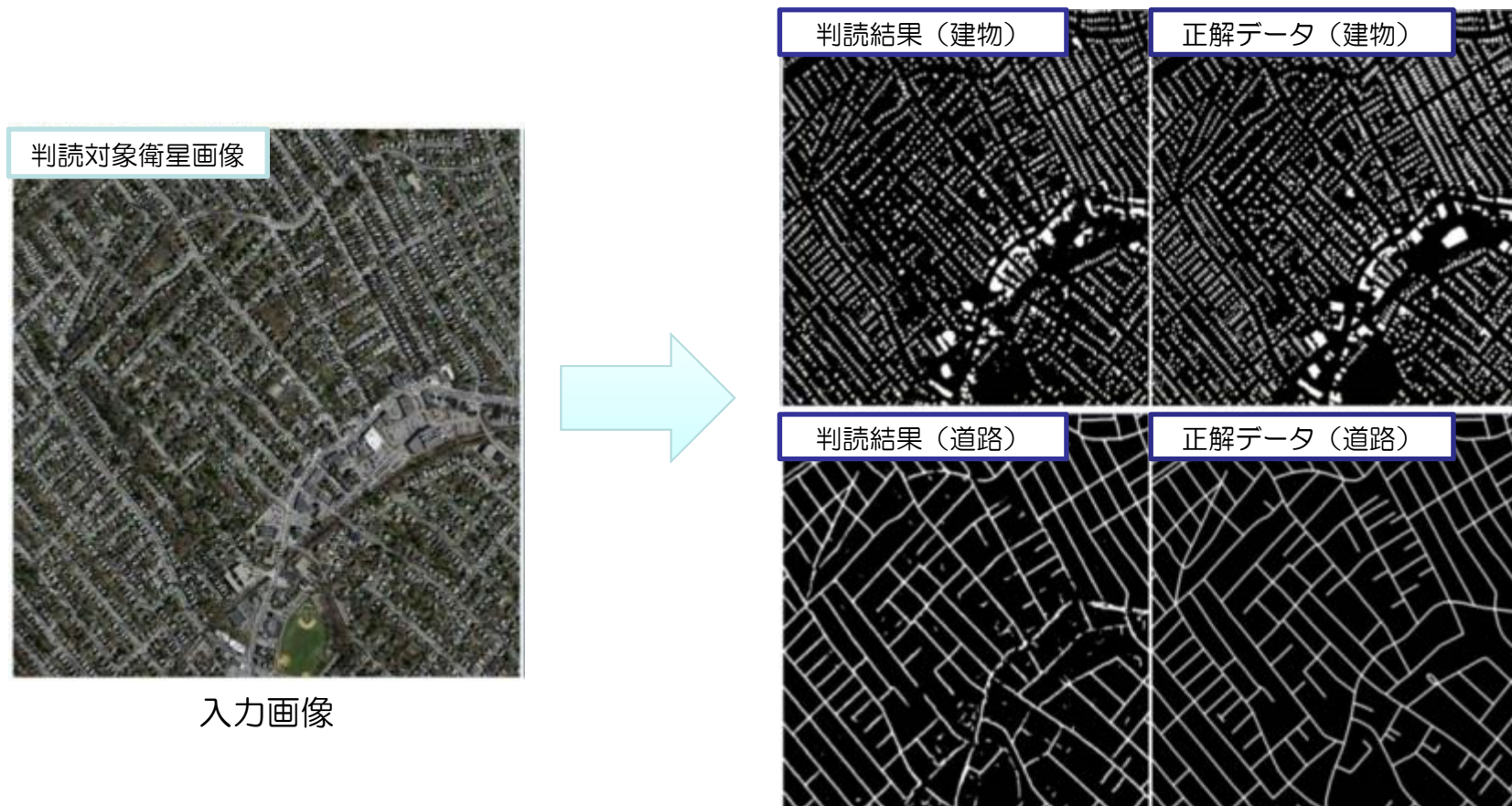
2. C-2. 4. 成果、目標の達成度

高分解能光学衛星画像及び高分解能合成開口レーダー衛星画像から、対応衛星画像で目視認識可能な地物や土地被覆を判読するシステムを開発した。

要素技術	目標・指標	成果	達成度
⑤計算機環境の構築	画像自動判読システムを動作させるための計算機環境の設計・構築を行う。設計にあたっては、本システムを構成する各システムの処理特性や処理性能、運用性を十分考慮する。	システムロジック部およびシステムフレーム部の研究成果や設計を踏まえ、機械装置のサーバー、ネットワーク等の要件整理、計算機環境の設計および機器選定・調達を行い、構築を行った。 処理特性に応じて、システムによってネットワーク規格やストレージを使い分けることにより、効率的かつ合理的な設計を行った。また、計算機の集約・仮想化や自動デプロイ機能の具備を行い、運用性の向上と、ランニングコストの低減を図った。	達成
(3)ナレッジデータベースの構築	衛星画像から、システムロジック部の開発等に利用する学習用／評価用データの整備を行う。	大量の学習用／評価用データを整備する必要があるため、効率性を考慮した整備ツールを作成した。当該ツールを活用し、衛星画像や航空写真から、学習用／評価用データを約45万セット整備した。	達成

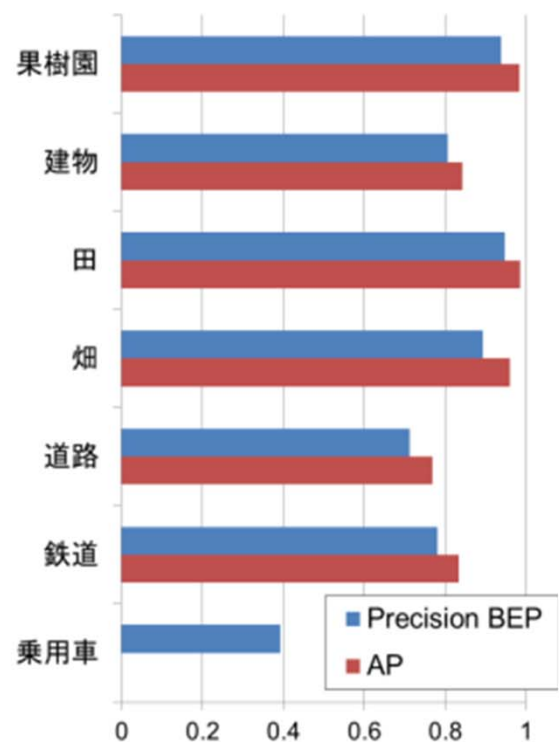
判読ロジックの確立

- 機械学習アルゴリズムの1つであるディープラーニング(深層学習)をベースとした、判読ロジックを確立した。
- ディープラーニングは、ニューラルネットワークを用いた手法であり、人間の脳を模した構造をもつニューラルネットワークを多層に重ねた構造を有することで、より抽象的な特徴の抽出が可能となっている。



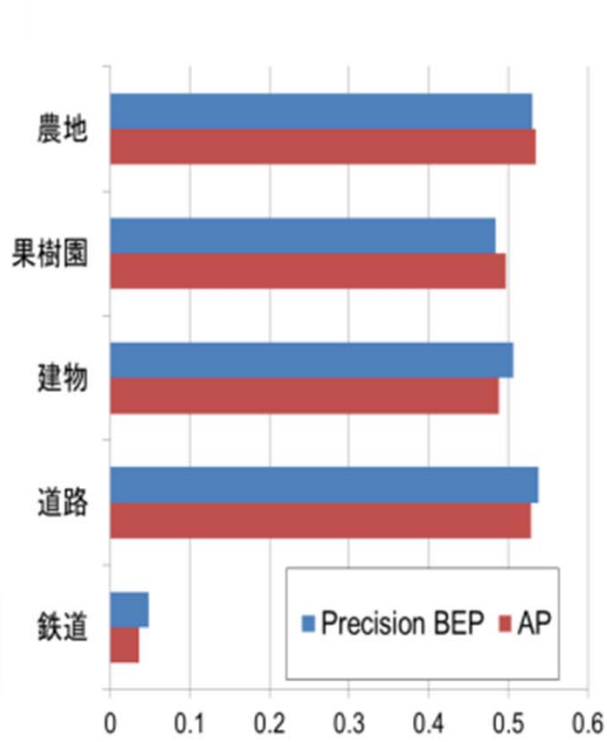
地物判読検証結果

■光学判読



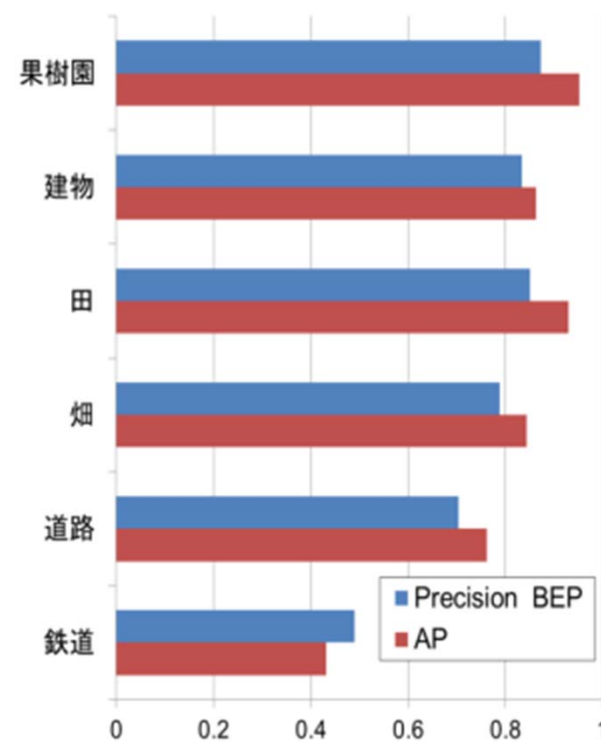
mAP値：0.90

■合成開口レーダー判読(SAR)



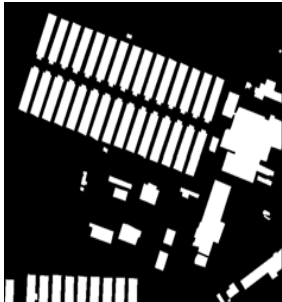
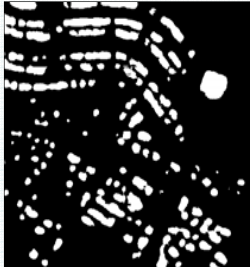
mAP値：0.42

■光学/SAR統合判読



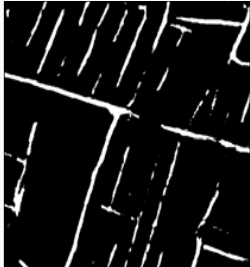
mAP値：0.80

地物判読結果(建物)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

 :対象クラス(前景)
  :非対象クラス(背景)

地物判読結果(道路)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

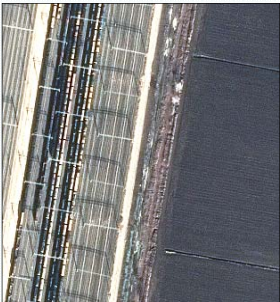
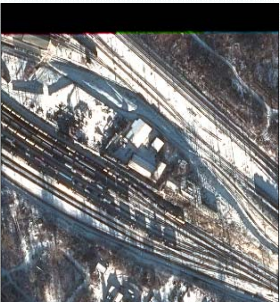
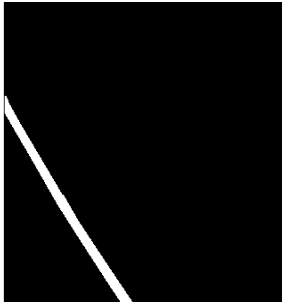
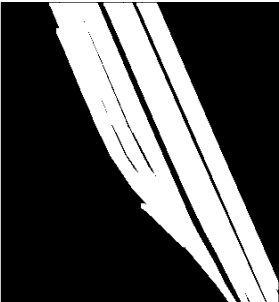
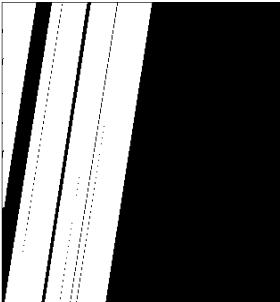
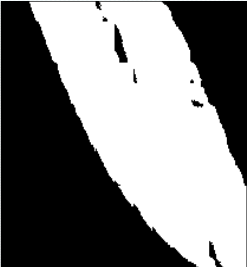
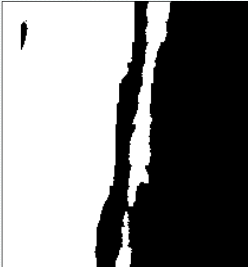
 :対象クラス(前景)
  :非対象クラス(背景)

地物判読結果(自動車)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

 :対象クラス(前景)
  :非対象クラス(背景)

地物判読結果(鉄道)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

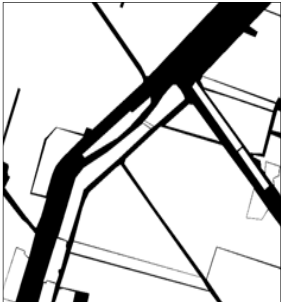
 :対象クラス(前景)
  :非対象クラス(背景)

地物判読結果(田)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

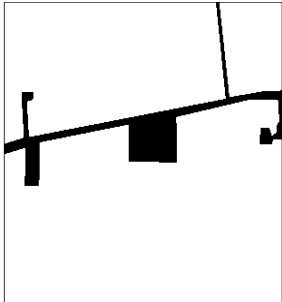
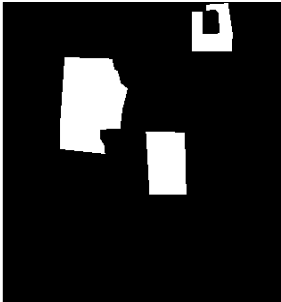
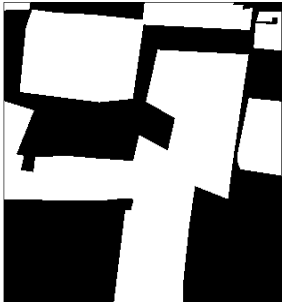
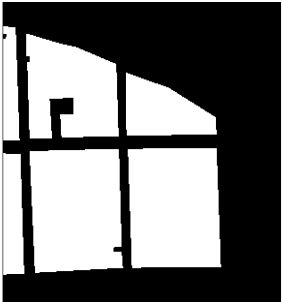
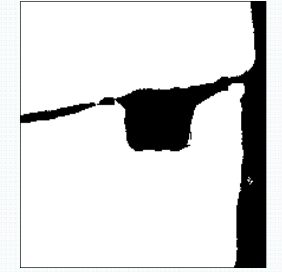
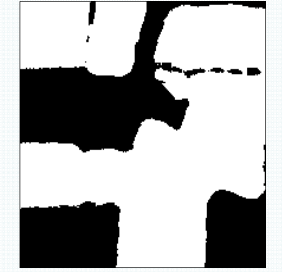
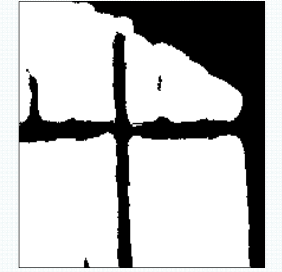
 :対象クラス(前景)
  :非対象クラス(背景)

地物判読結果(畑)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

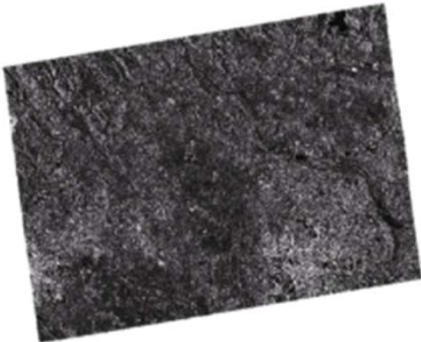
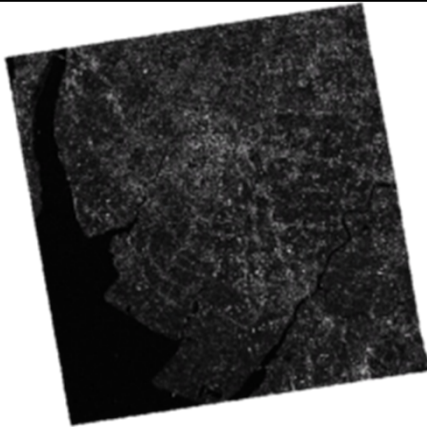
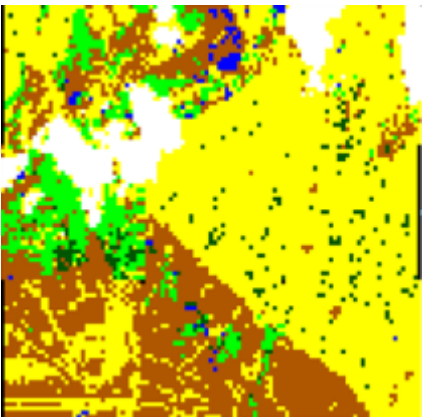
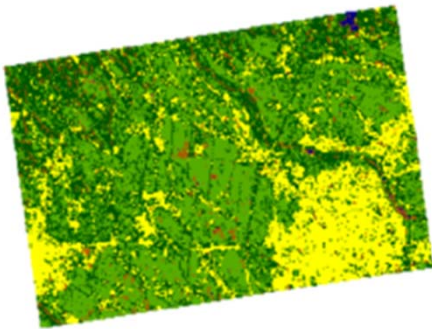
 :対象クラス(前景)
  :非対象クラス(背景)

地物判読結果(果樹)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

 :対象クラス(前景)
  :非対象クラス(背景)

被覆判読結果

	光学	SAR単偏波	SAR多偏波
入力画像		 偏波HH	 偏波HH+VV
判読結果	 精度： 97.2%	 精度： 73.8%	 精度： 80.4%

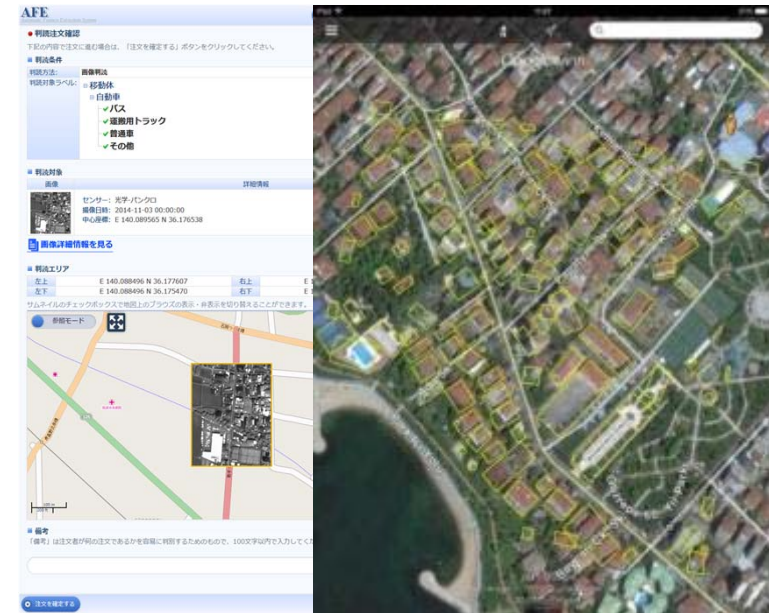
判読ラベル	色
水域	青
草地	緑
森林	濃緑
都市部	黄
雲	白
裸地	茶
※無効値	黒

システムフレームワークの開発

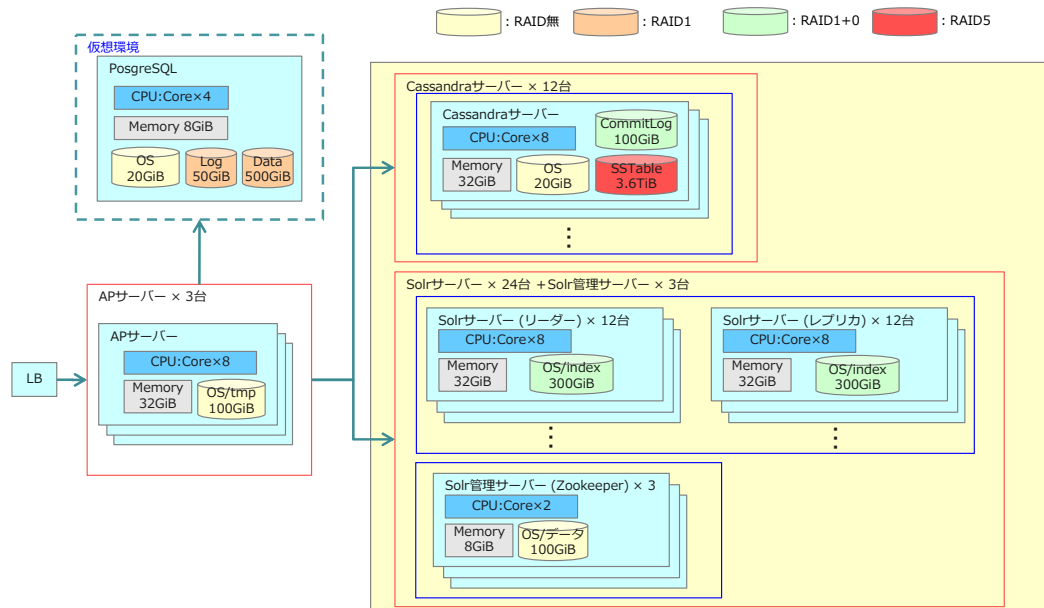
ウェブGIS上への判読結果表示



タブレット対応とGoogle Earth連携



分散データベースによる高層データアクセスの実現



計算機外観



2. C-2. 5.事業化、波及効果

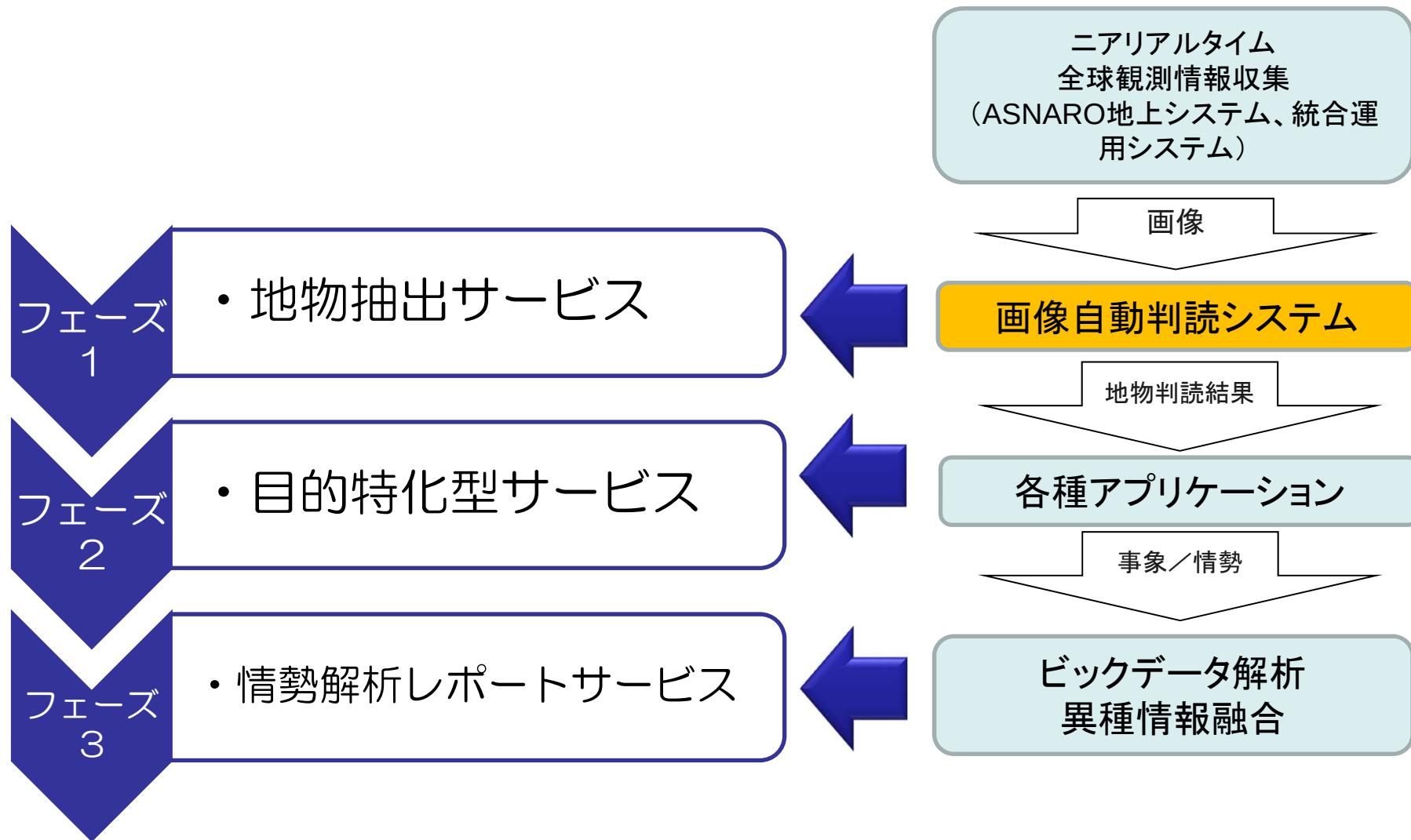
本研究開発成果を活用して、国内外の民間企業や政府/自治体に対し、インターネット（窓口は衛星プラットフォームを利用）や専用線を介した判読サービスを提供することを予定している。

判読サービスとしては、衛星画像から抽出した地物／被覆を利用者に提供することを予定している（地物抽出サービス）。

また、波及効果として、判読サービスの高度化による、利用者の目的に特化したサービス（目的特化型サービス）の実現が期待される。

最終的には、地上で起こりうる様々な事象や情勢（経済活動等）を、衛星画像等を中心とするビックデータ情報解析により可視化を行い、リアルタイム情報として利用者に提供するサービス（情勢解析レポートサービス）の実現を目指す。

事業化のロードマップ

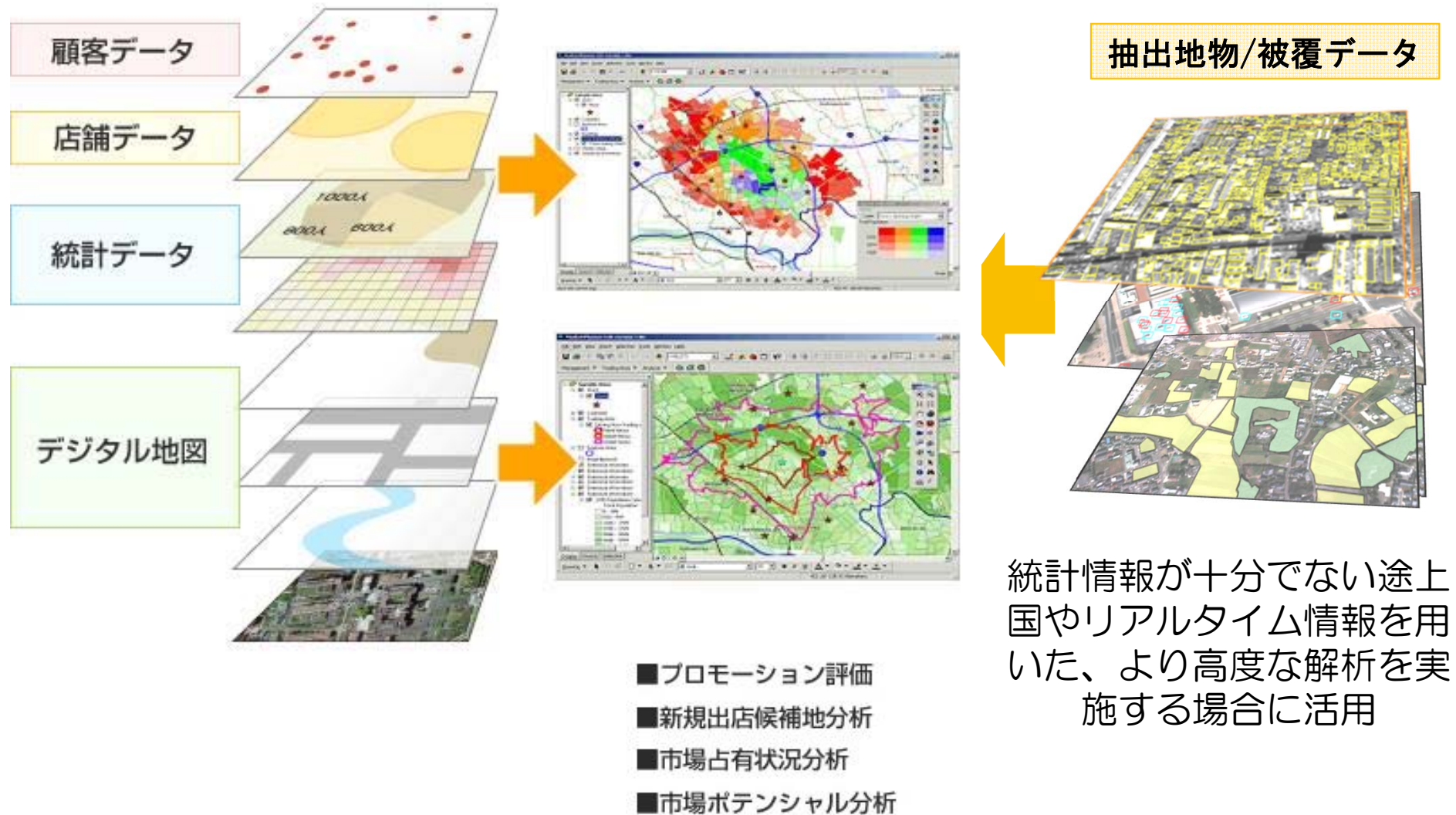


フェーズ1:

目的特化型サービスの例

適用分野		適用例
農業		作付け状況確認、生育管理、収穫の状況確認・予測、耕作放棄地、転作、災害査定、土地変化、植生分野、疫病管理、休耕地調査、農地海岸域調査
林業		樹種、バイオマス、不法伐採・造林未済地、病虫害(樹木の枯損)、森林管理
鉱業		鉱場モニタリング、生産量推定、採掘地選定
漁業		魚場モニタリング、海洋生簀モニタリング、漁獲量推定、密漁監視、漁獲量調整
保険		農業保険料率算定
物流		物流推定(空路、海路、鉄道運輸)、最適航路ナビゲーション
エネルギー		発電量推定(太陽光、風力、水力等)、太陽光パネル普及モニタリング
金融		先物取引、経済活性度推定
マーケティング ※次スライドで例示		販売促進ターゲット分析、プロモーション評価、新規出店候補地分析、市場占有状況分析、市場ポテンシャル分析
施設 管理	港湾	堤防(防波堤、防潮堤)、港湾施設
	道路	道路築造状況(拡幅、延長含む)、道路周辺地の状況
	ダム	ダムサイト(敵地選定、ダム管理)、土砂発生量(堆砂量の推定等)、水量・水位(ダム管理)
都市 国土 管理	都市	家屋移動(移動、滅失、移転、増改築等)、固定資産税予測、土地利用、ヒートアイランド、都市緑地
	環境	不法投棄モニタリング、廃棄場管理、陸域汚染評価、河川汚染評価
	地図	地形図作成・更新、主題図作成・更新(都市計画図、土地利用、植生、河川、水系、農地、森林管理図)
	海洋	船舶監視、海域汚染評価、サンゴ礁(白化減少)モニタリング、マングローブ監視、旱魃域監視、領海監視(不正海洋プラント等)
災害支援・防災		洪水、地震、津波、火山活動、火災(山火事)、風水害・高潮、各種事故(航空機、鉄道、船舶座礁等)、道路防災、被害把握(時間経過により必要な情報精度が変化することが特徴)

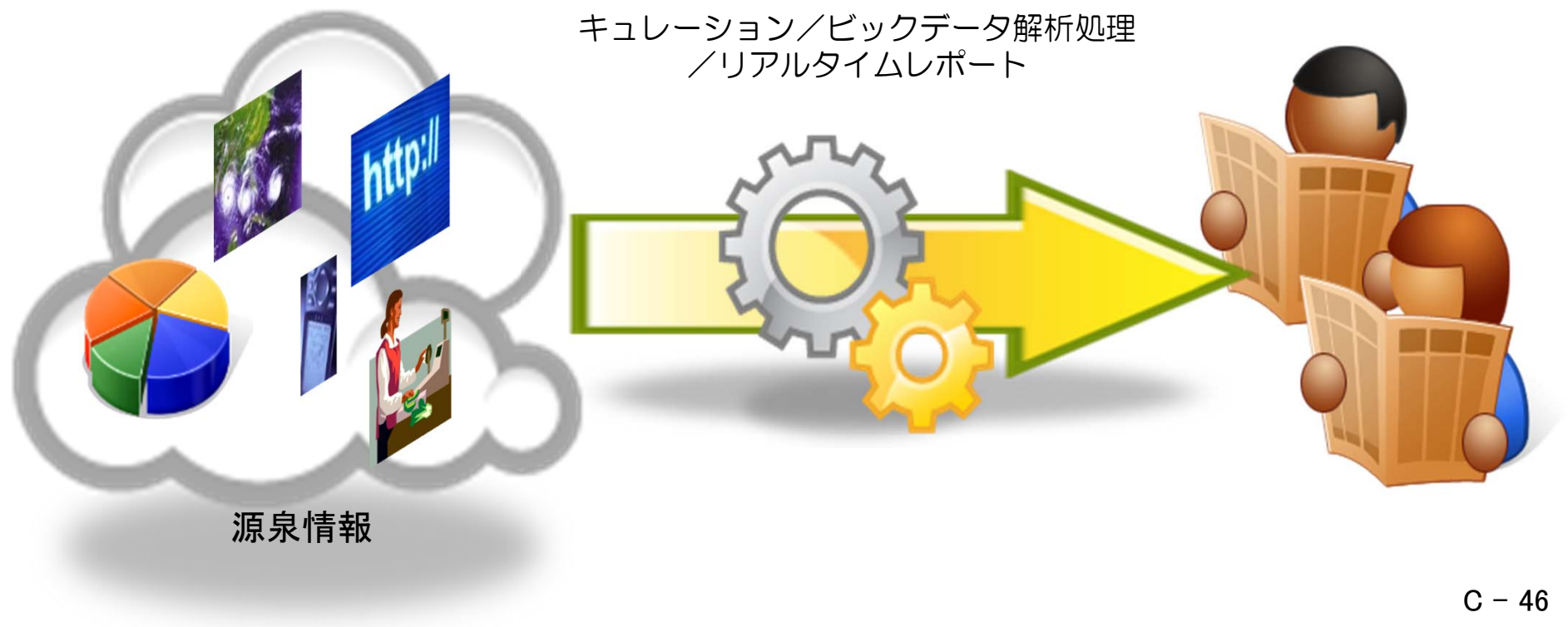
目的特化型サービスの例（マーケティング）



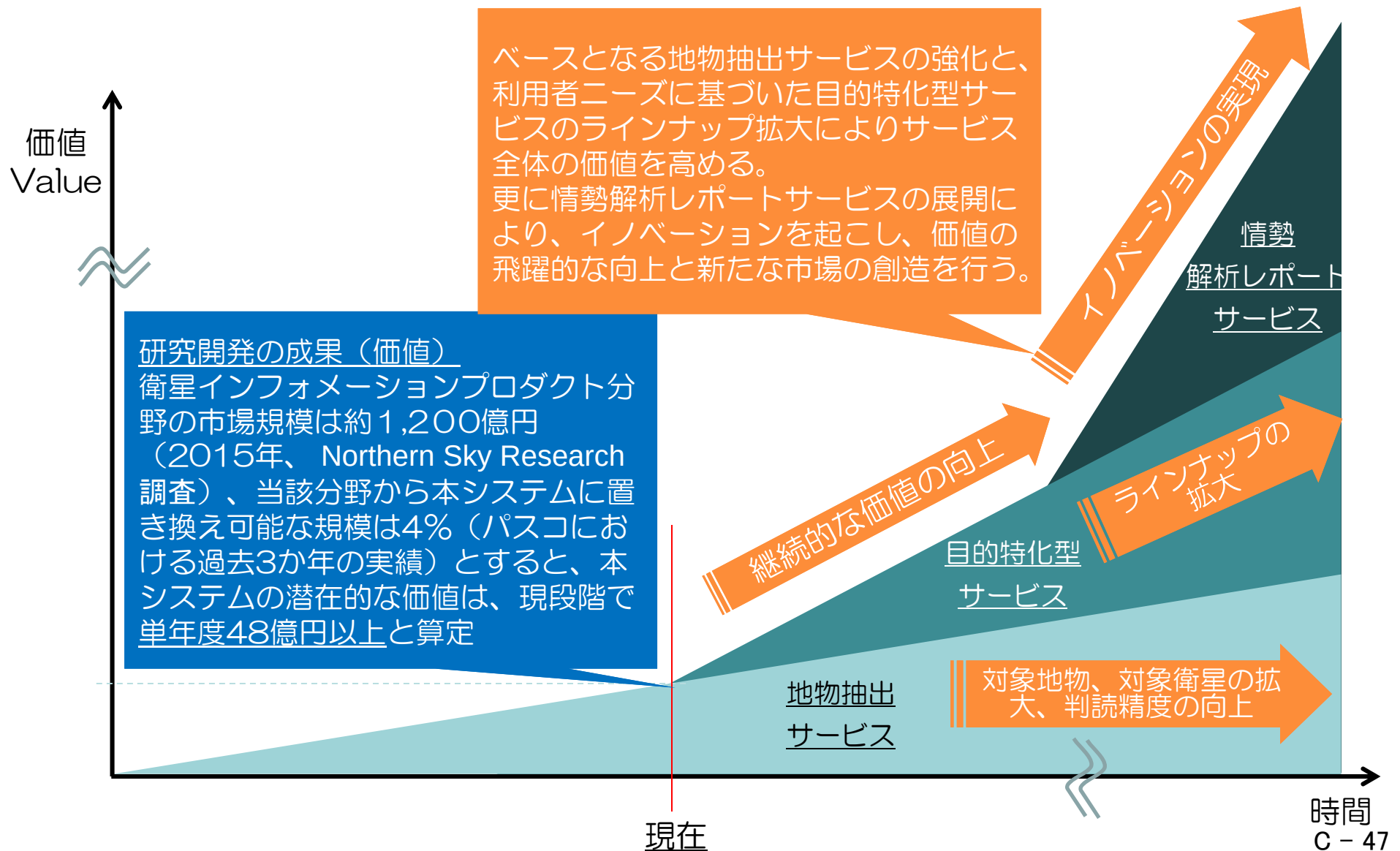
情勢解析レポートサービス

- 目的特化型サービスの更なる拡張であり、**地上で起こりうる様々な事象や情勢（経済活動等）を、衛星画像等※を中心とするビックデータ情報解析により可視化**を行い、リアルタイム情報として利用者に提供する。
- これにより、既存市場の拡大だけでなく、**新たな市場の創造（イノベーション）と顧客拡大**を目指す。

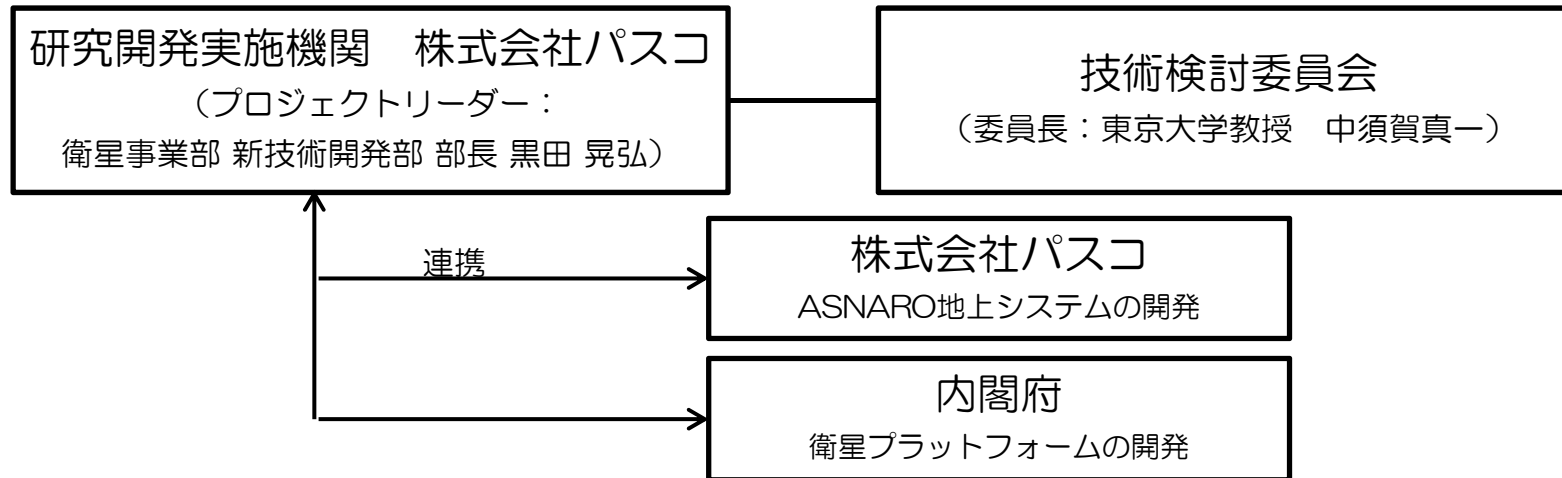
※衛星画像、航空写真、静的情報（統計値、地図等）、動的情報（インターネットニュース、SNS、POS、自動車軌跡、船舶軌跡、携帯電話位置、各種センサ情報等）



費用対効果



2. C-2. 6. 研究開発マネジメント・体制等



研究開発の実施に当たっては、衛星画像の利活用、画像判読の研究開発、人工知能の研究開発、光学/SAR衛星のセンサ開発、コンピュータアーキテクチャの研究開発等に関わる学識経験者、専門家等からなる8名の有識者による技術評価委員会を設置し、事業計画、開発成果等の第三者評価を実施した。

■技術検討委員会 委員一覧（敬称略、委員長を除き五十音順）

氏 名	委員会職位	所 属
中須賀 真一	委員長	東京大学大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授
秋山 演亮	委員	和歌山大学 宇宙教育研究所 所長・教授
麻生 英樹	委員	産業技術総合研究所 知能システム研究部門 上級主任研究員
柴崎 亮介	委員	東京大学 空間情報科学研究センター 教授
白坂 成功	委員	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 准教授
関口 智嗣	委員	産業技術総合研究所 情報通信・エレクトロニクス分野 副研究統括
村山 裕三	委員	同志社大学大学院 ビジネス研究科 副学長
横塚 英世	委員	東海大学 情報技術センター 准教授

C. 7. 評価

C. 7－1. 評価検討会

評価検討会名称	宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会	
評価検討会委員	座長	建石 隆太郎 国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター長 教授
	委員	澤谷 邦男 国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部 レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長 中山 裕則 学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授 橋本 英一 元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長 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

C. 7-2. 総合評価(コメント)

(複数衛星統合運用のための統合運用システム)

- 1台のシステムで複数の異なる人工衛星の運用が出来ることは、大幅なコストダウンを可能にすることに加え、既存の衛星も取り込んだ低コストでのコンステレーション化も可能にするものであり、ASEAN各国への寄与や災害監視などの地球観測に資するものである。
- 統合運用システムを開発するための要素技術に関する全ての項目について目標を達成していることは評価できる。また、統合衛星運用により開発費・運用経費を削減できる見通しを得ており優れている。
- 一方で、優位性を示す数値データがほとんど示されておらず、国際競争力を判断することが困難であり、事業化・波及効果がやや不透明である。
- 本開発の成果の普及には、そのニーズは様々な分野に及ぶ可能性があり、ユーザーに有効な使い方をアピールするなどの取組が必要と考えられる。

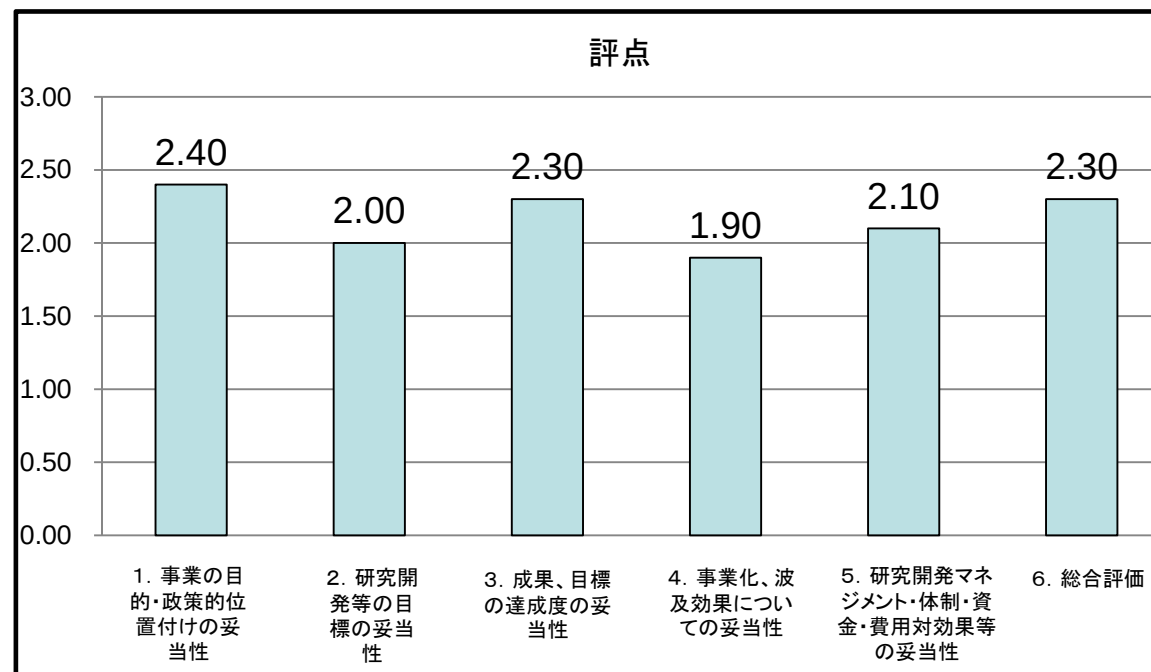
(画像自動判読システム)

- 大量の衛星データから必要な情報をコンピュータに抽出(自動判読)させる手法は、人工衛星の高度化・機数増が進む中で今後ますます必要となると考えられ、有用な研究開発である。
- 本事業で画像自動判読システムの枠組みとその要素システムを構築し、操作感の向上も含め実用に耐えうる処理能力を有したシステムを構築したことは評価できる。
- 本事業の成果の優位性をアピールする観点からも、処理全体の時間の短縮や自動判読の正確性の向上について、これまでのものとの比較をすることが望ましい。
- 今後、本事業の成果の普及にあたっては、分野ごとのニーズに応じた改良や、衛星毎のセンサの仕様の差異に応じた対応等が必要になると考えられる。

C. 7-3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、評点法による評価を実施した。

○「4. 」については、成果の優位性があまり示されず事業化・波及効果が不透明であったため、評点が2点を下回った。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 実施された事業は、優れていた。

2点: 実施された事業は、良かった。

1点: 実施された事業は、成果等が今一步のところがあつた。

0点: 実施された事業は、成果等が極めて不十分であつた。

C. 8. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- これまで日本の宇宙関連産業が蓄積してきた人工衛星/センサの開発、運用、解析の技術を継承しながら発展させるという点から、人工衛星の高分解能化や高頻度観測、その高精度かつ高速な運用・処理・解析に資する技術の開発についての検討が必要と考えられる。また、輸出が期待される国々のニーズに即した技術の開発についても検討することが重要と考えられる。

具体的には、例えば、

- 複数衛星/センサによる高頻度観測が可能となるような小型化かつ低コストの高機能衛星/センサ技術の開発（本格的な「小型高機能衛星」の実現）
- 資源探査に有効な高空間分解能・高スペクトルの光学センサの発展的な開発
- 小規模機関や民間などでも十分に利用可能な簡易衛星データ受信・処理・解析の一貫システムの開発
- 多様な地域に対応できる衛星データの高精度解析手法の開発
などが想定される。（A～H事業共通）

- 社会から求められる目的特化型のサービスは、多種多様であることからオーダーメイドにならざるを得ないが、開発期間を例えば1年間とできれば大きなメリットとなる。今後、こうしたことも見据えることが重要である。

提言に対する対処方針

- 今後のリモートセンシング衛星に関わる研究開発に当たっては、これまでに培われた技術を承継・活用し、また、その技術を発展させるものとなるよう、検討を行いながら、取り組んでまいりたい。
輸出が期待される国々・ユーザーのニーズに即した研究開発についても、検討してまいりたい。

D 可搬統合型小型地上システムの 研究開発 (終了時評価)

製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
株式会社パスコ

D. 1.可搬統合型小型地上システムの研究開発の概要

概 要	本プロジェクトは、衛星の追跡管制やデータ受信処理といった地上システムについて、効率的、かつ、利便性の高い利用者重視の地上システムの実現を目的とし、地上システムの小型化、低コスト化、高機能化、運用の省力化のための研究開発を実施する。
実施期間	平成21年度～平成26年度（5年5か月間）
予算総額	47.8億円(委託事業) (平成23年度:12.7億円 平成25年度:3.0億円)
実 施 者	株式会社パスコ
プロジェクト リーダー	株式会社パスコ 衛星事業部 福永 哲雄

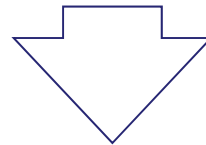
D. 2.プロジェクトの目的・政策的位置付け

◆ 宇宙基本計画（平成21年6月 2日、宇宙開発戦略本部決定）に以下の記述がある。

①国際競争力の強化

(a)宇宙機器(人工衛星、ロケット、部品・コンポーネント)産業の国際競争力強化の推進

・人工衛星、ロケット等の追跡管制・運用を自律的に行うため、これらに必要な技術を基盤的な技術として維持・発展させるとともに、施設・設備の適切な維持・更新や、最先端の情報通信技術の活用を進める。また、人工衛星の運用を円滑に行うため、可搬型データ受信システムやデータの統合・高速処理システムの整備を進める。

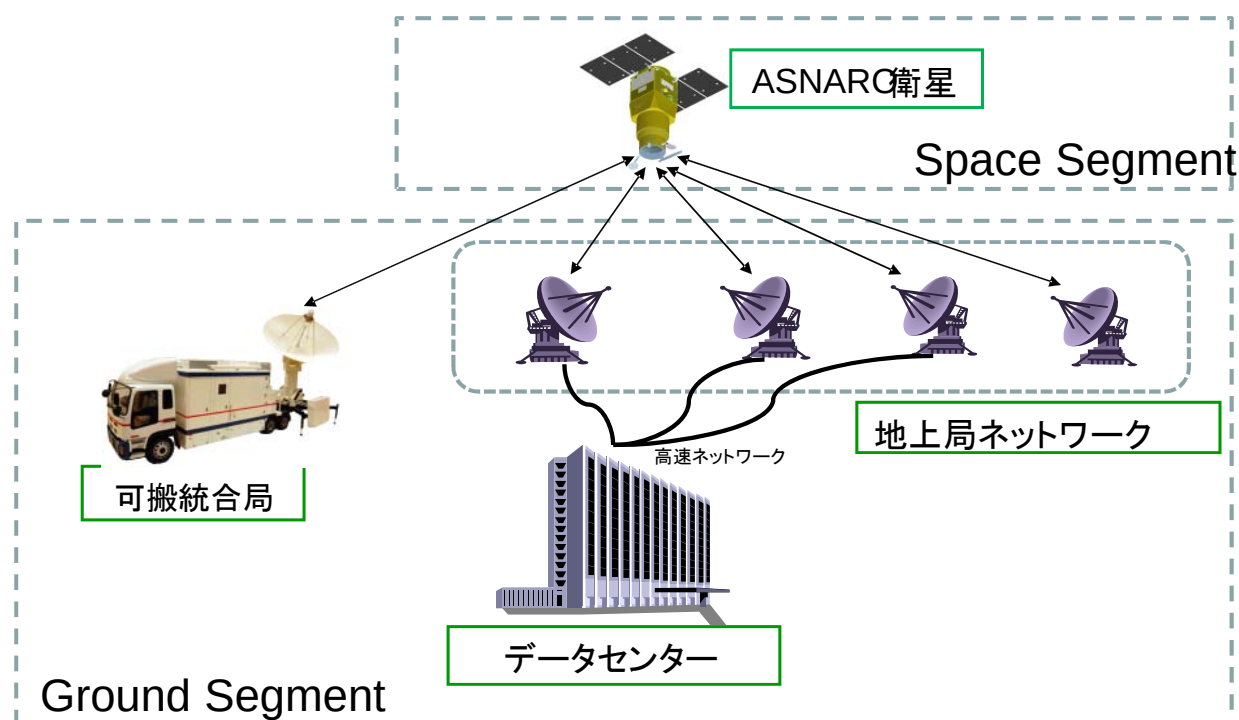


この政策に準じた研究開発を実施

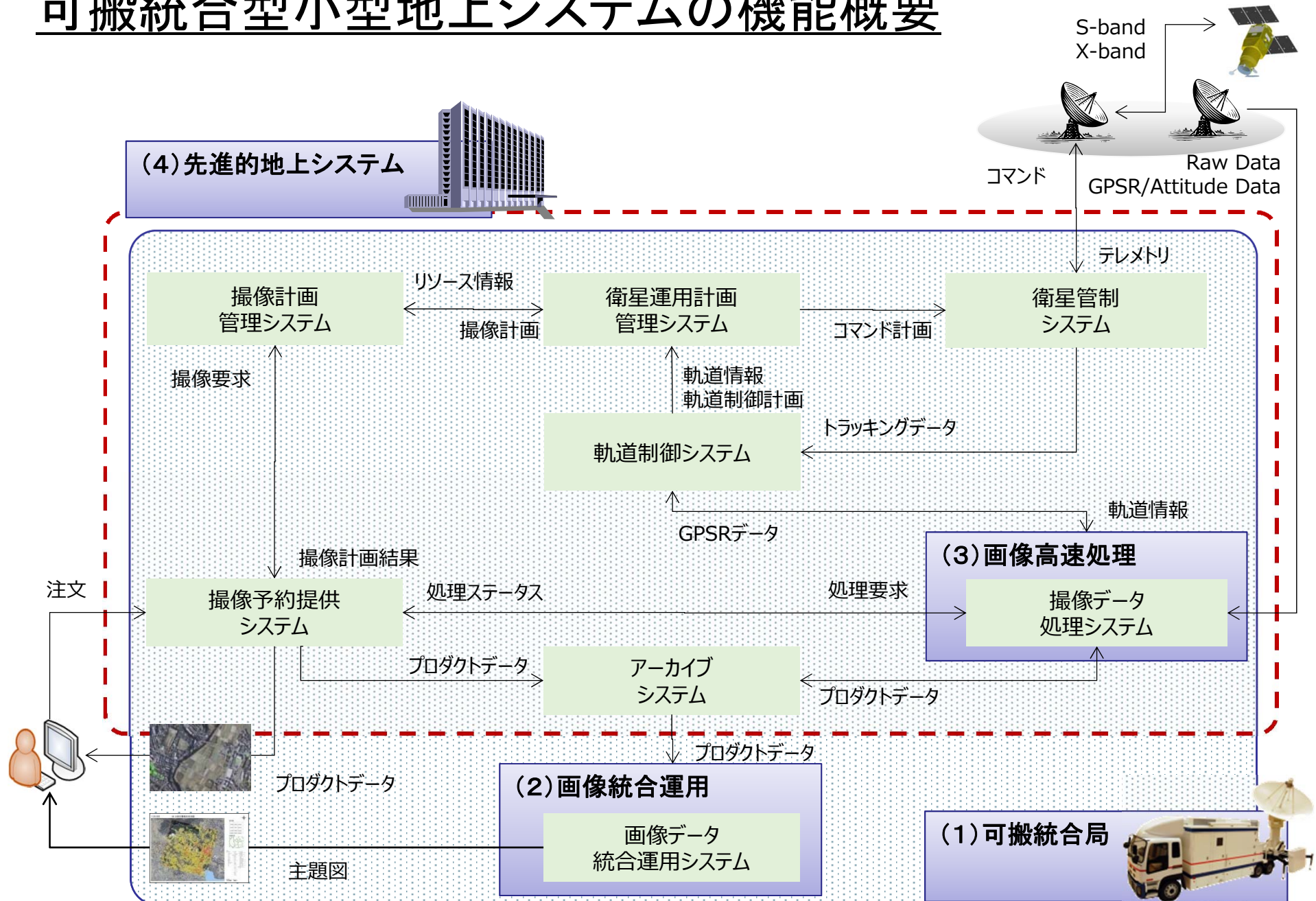
可搬統合型小型地上システムの目的と概念図

「可搬統合型小型地上システムの研究開発」は、「小型化等による先進的宇宙システムの研究開発」による経済産業省の高性能小型衛星(ASNARO衛星)の開発に合わせ、衛星の追跡管制やデータ受信処理システムの小型化、低コスト化、高性能化、運用の省力化を実現する効率的かつ利便性の高い地上システムについて研究開発を実施することである。

高性能小型衛星を活用した技術実証を行うことにより、我が国の宇宙産業の国際競争力強化及び宇宙利用の拡大を図ることを目的とする。



可搬統合型小型地上システムの機能概要



研究開発概要説明

要素技術	機能概要
(1)可搬統合局	従来の地上系システムでは個別となっている衛星管制機能、ミッション運用機能及び画像処理解析機能を1台の車両に搭載する画期的なオールインワンシステム。 可搬統合局1台で撮像要求の登録、撮像計画の立案を行い、衛星へのコマンド直接送信、衛星からのデータ直接受信、受信データの画像処理等の一連の作業を行うことができる。
(2)画像統合運用	受信した衛星データと過去に撮像した同一地点のアーカイブデータを活用し災害現場に必要な情報抽出、GIS(地理情報システム)機能を用いた画像データの統合的な利用を可能とする。 情報抽出のための変化抽出技術、地物抽出技術、DSMの作成技術を有する。
(3)画像高速処理	衛星から取得したデータの画像処理を高速に行う。ハードウェアによる高速化手法や、ソフトウェアによる様々な高速化手法(光学補正処理の高速処理アルゴリズム、幾何学補正処理の高速処理アルゴリズム、復号処理の高速処理アルゴリズム)を有する。
(4)先進的地上システム	衛星の追跡管制やデータ受信処理の小型化、低コスト化、高性能化、運用の省力化を実現する効率的かつ利便性の高い地上システム。7システムで構成される。

D. 3.目標

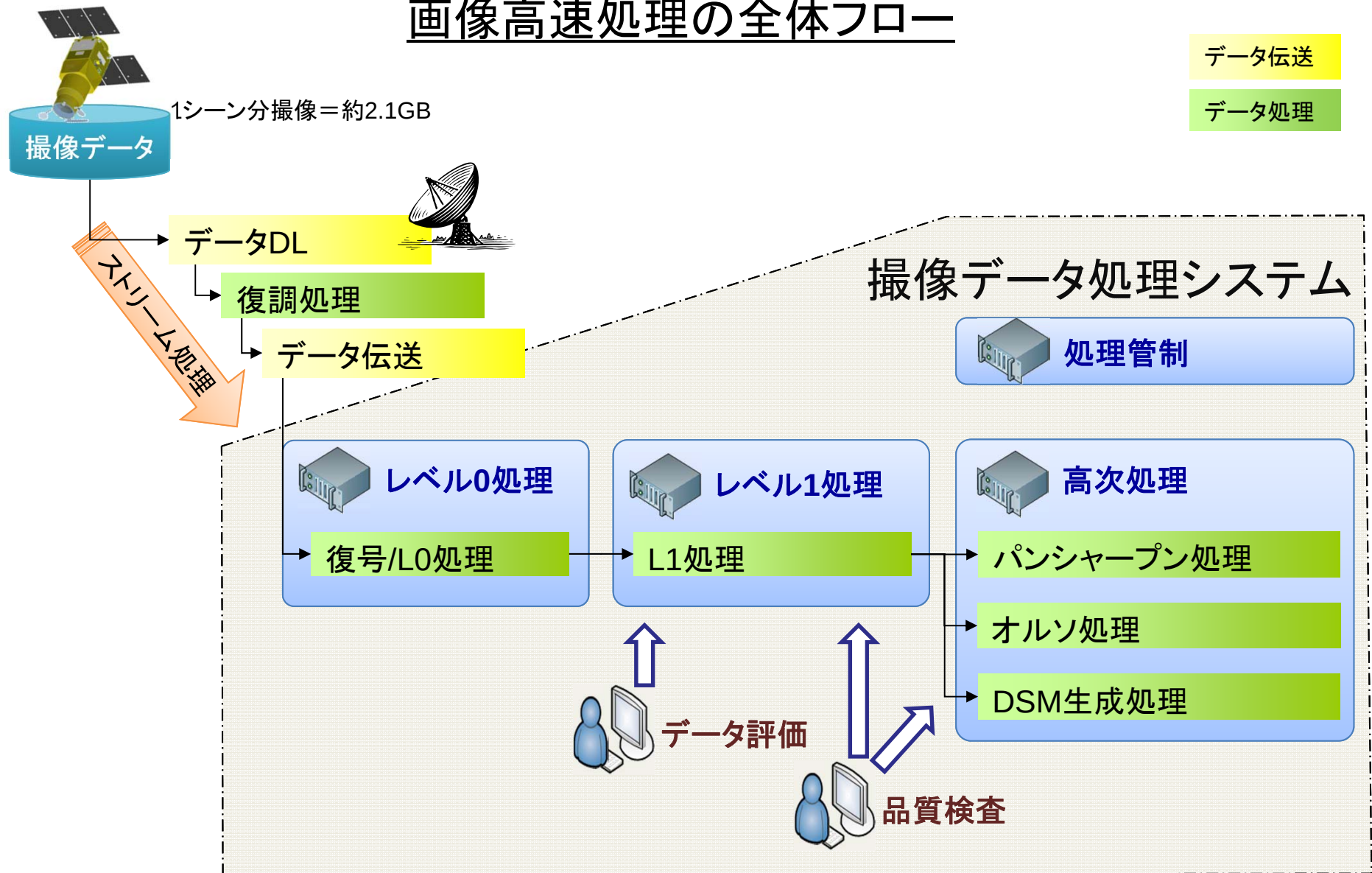
衛星の追跡管制やデータ受信処理といった地上システムについて、効率的、かつ、利便性の高い利用者重視の地上システムの実現を目指し、地上システムの小型化、低コスト化、高機能化、運用の省力化を実現する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(1) 可搬統合局	単独で衛星データが送受信可能となるように車両に搭載可能なアンテナ、衛星へのコマンドが直接送信可能となるように衛星管制機能、撮像計画機能、コマンド送信機能を有する可搬統合局の開発・検証を実施する。	主に災害等の有事での利用を想定した場合、固定化された地上局では、電力・通信網遮断等による衛星データの受信及びデータ配布の制約リスクを回避するため。
(2) 画像統合運用	衛星から取得したデータと過去に撮像した同一地点のアーカイブデータを活用した画像データの統合運用を可能とするシステムの開発・検証を実施する。	災害現場に必要な情報抽出の技術検証や、GIS（地理情報システム）機能を用いた統合的な利用を可能とし、利用者にとって利便性の高いサービスを提供するため。
(3) 画像高速処理	衛星から取得したデータのL0処理、L1処理、高次処理、大容量データI/Fに対する高速処理技術の開発・検証を実施する。	迅速なプロダクト提供は利用者にとっての利便性が高いため。
(4) 先進的地上システム	運用要員の低減とユーザー本位なシステムの実現をめざし、地上システムの小型化、低コスト化、高機能化、運用の省力化を実現するためのシステムを開発・検証を実施する。	効率的かつ利便性の高い利用者重視の地上システムを実現することで、利用者にとって利便性の高いサービスを提供するため。

画像高速処理の全体フロー

データ伝送

データ処理



D. 4. 成果、目標の達成度

衛星の追跡管制やデータ受信処理といった地上システムについて、効率的、かつ、利便性の高い利用者重視の地上システムの実現を目指し、地上システムの小型化、低コスト化、高機能化、運用の省力化を実現した。

要素技術	目標・指標	成果	達成度
(1) 可搬統合局	単独で衛星データが送受信可能となるように車両に搭載可能なアンテナ、衛星へのコマンドが直接送信可能となるように衛星管制機能、撮像計画機能、コマンド送信機能を有する可搬統合局の開発・検証を実施する。	衛星とのコミュニケーション（UL/DL）はもとより、受信データの基本的な処理及び高次処理までの統合的な機能を有したオールインワンのシステム（可搬統合局）を開発した。	達成
(2) 画像統合運用	衛星から取得したデータと過去に撮像した同一地点のアーカイブデータを活用した画像データの統合運用を可能とするシステムの開発・検証を実施する。	可搬統合局に具備する変化抽出手法、地物抽出手法、DEMの生成手法、災害シミュレーション手法を開発した。省力化と時間短縮を行い実用に耐え得るシステムを開発した。	達成

D. 4.成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成果	達成度
(3) 画像高速処理	衛星から取得したデータのL0処理、L1処理、高次処理、大容量データI/Fに対する高速処理技術の開発・検証を実施する。	ハードウェア及びソフトウェアによる高速化を実現し利用者にとって利便性の高いサービスを実現した。 以下のアルゴリズムを開発した。 ・光学補正処理の高速処理 ・幾何補正処理の高速処理 ・復号処理の高速処理	達成
(4) 先進的地上システム	運用要員の低減とユーザー本位なシステムの実現をめざし、地上システムの小型化、低コスト化、高機能化、運用の省力化を実現するためのシステムを開発・検証を実施する。	小型化、低コスト化、高機能化、運用の省力化を実現する先進的地上システムを開発した。 「総合システム開発仕様書」に基づき、軌道上の実証を行った。	達成

D. 4.成果、目標の達成度 (1)可搬統合局

要素技術	目標・指標	成果	達成度
①車両総重量の軽量化	車両総重量を20t以下とする。	車検における車両総重量の測定結果が19.4tであることを確認。	達成
②アンテナ搭載型車両	アウトリガの安定度に関する性能要件はアンテナ設置要件を適用し以下の設定とする。 【性能要件】 設置面傾斜： 水平面から$\pm 5^\circ$ 初期姿勢： 水平面から$\pm 0.5^\circ$ 運用時安定度： 初期姿勢から$\pm 0.1^\circ$	設置面傾斜： 水平面から$\pm 5^\circ$ 初期姿勢： 水平面から$\pm 0.1^\circ$ 運用時安定度： 初期姿勢から$\pm 0.04^\circ$ (風速25m/s環境下の最大変位)	達成
③ 可搬局セットアップ（アンテナ組立）の高速化	アンテナ組立の3工程（アウトリガの設置、Feedの取り付け、アンテナパネルの取り付け）を2名で2時間以内に実施する。	2名で2時間以内（1時間55分）に設置を完了した。	達成

D. 4.成果、目標の達成度 (2)画像統合運用

要素技術	目標・指標	成果	達成度
①統合運用の検討	災害発生時における統合運用手法を確立し、可搬統合局及び統合運用の実施フローから可搬統合局の運用時間や情報提供までの時間を整理しモデルケースにおいて情報提供時間の有効性を検証する。	可搬統合局に具備する変化抽出手法、地物抽出手法、DEMの生成手法、災害シミュレーション手法を開発した。省力化と時間短縮を行い実用に耐え得るシステムを開発した。	達成
②主題図作成の自動化	主題図作成の自動化を実現し、統合運用人員の省力化を実現する。	主題図作成における一連の手順を自動化することで省力化を図った。また、自動処理に対する設定作業を画像注文時に一括して行う仕組みとすることで、可視時間内の運用負荷を削減している。	達成
③主題図様式のテンプレート化	主題図の表現方法を明確化し、テンプレートとして柔軟に利用するための表示設定やレイアウトを確立する。また主題図の表現に必要な情報を選定する。	分析結果の実データと、それを表現するための表示設定ファイル、レイアウトを管理するテンプレートファイルを個別に管理する仕組みを実装することで、利用者の要望に応じた主題図や、対象とする災害に応じた表示方法での主題図提供を可能とした。	達成

D. 4.成果、目標の達成度 (2)画像統合運用

要素技術	目標・指標	成果	達成度
④DSM差分抽出の 精度検証	DSM差分抽出アルゴリズムの 確立と、大規模災害におけ る被害状況の把握に、広域 にわたる高さの変化情報が 有効かを検証する。	アルゴリズムを確立し、その精度 検証において建物倒壊の被害状況 把握を想定し、建物面積に着目し た検証を行った。200㎡以上の面 積を持つ建物に関して83.3%の抽 出率を示し、単純差分での変化抽 出と比較しても良好な検出が行え ることが分かった。	達成

D. 4.成果、目標の達成度 (3)画像高速処理

要素技術	目標・指標	成果	達成度
①L0処理の高速化	ストリーム方式での中間ファイルの最適なファイル分割サイズ検討、復号処理アルゴリズムの確立と高速化手法による処理の高速化を実現する。 【性能目標】 L0処理：42秒	【性能実績】 L0処理：26秒 迅速なプロダクト提供に寄与できる性能目標を達成した。	達成
②L1処理の高速化	画像I/Oについて異なる媒体での性能比較・検討を行うことにより処理の高速化を実現する。 【性能目標】 L1処理：70秒	【性能実績】 L1処理：53秒 迅速なプロダクト提供に寄与できる性能目標を達成した。	達成

D. 4.成果、目標の達成度 (3)画像高速処理

要素技術	目標・指標	成果	達成度
③高次処理の高速化	高次処理アルゴリズムの開発、最適な装置構成により処理の高速化を実現する。 【性能目標】 パンシャーポン生成：60秒 オルソ生成：90秒 DSM生成：180秒	【性能実績】 パンシャーポン生成：28秒 オルソ生成：20秒 DMS生成：155秒 迅速なプロダクト提供に寄与できる性能目標を達成した。	達成
④大容量データ I/Fの高速化	最適化ソリューションの確立、局間伝送シミュレーション実施、最適な装置構成により処理の高速化を実現する。 【性能目標】 伝送効率：75%	【性能実績】 伝送効率：97% 迅速なプロダクト提供に寄与できる性能目標を達成した。	達成

D. 4.成果、目標の達成度 (4)先進的地上システム

要素技術	目標・指標	成果	達成度
①撮像予約提供 システムの開発	利用者の利便性に考慮したWeb注文システムの構築を目標とする。 【性能目標】 検索速度：4秒以内 ※アーカイブ検索の前提 登録母数：1,500万件 適合件数：500件 同時アクセス数：10	直観的なインターフェ이스の検討を実施した。 大量データ表示のレスポンスを考慮した設計とし伝送遅延も考慮した描画方式を実現した。 アーカイブ検索の速度に対する大量データの表示性能目標を達成した。 【性能実績】 アーカイブ検索速度：2.4秒	達成
②アーカイブ システムの開発	OGC/ISO準拠のメタデータ設計、高速な空間検索を行うための検索モジュールの最適化を目標とする。 【性能目標】 1500万件から500件のデータ抽出：1秒以内	最適なOGC/ISO準拠のメタデータ設計を実施した。 高速な空間検索を行うための検索モジュールの最適化を実施した。 【性能目標】 1500万件から500件のデータ抽出：0.488秒	達成

D. 4.成果、目標の達成度 (4)先進的地上システム

要素技術	目標・指標	成果	達成度
③撮像計画管理 システムの開発	撮像計画立案処理の高速化と、撮像機会の向上を目的としたアルゴリズムの確立を目標とする。 【性能目標】 計画立案時間（衛星運用計画管理と合計）：15分以内	撮像計画時間で性能目標を達成した。 計画立案時間：9分13秒 注文の締め切り時間を衛星が飛来する直前（AOS-30分前）まで許容できるようになった。	達成
④衛星運用計画管理 システムの開発	運用計画立案処理の高速化を目標とする。 【性能目標】 計画立案時間（撮像計画管理と合計）：15分以内	運用計画立案処理時間で性能目標を達成した。 計画立案時間：4分2秒 注文の締め切り時間を衛星が飛来する直前（AOS-30分前）まで許容できるようになった。	達成
⑤衛星管制システムの開発	運用の省力化・衛星運用自動化の検討を行い運用省力化画面の作成を目標とする。 【性能目標】 ノミナル時1可視運用中の運用者操作：0件	ノミナル時の運用者操作は0件となり性能目標を達成できた。よって、運用の省力化を実現できた。	達成

D. 4.成果、目標の達成度 (4)先進的地上システム

要素技術	目標・指標	成果	達成度
⑥軌道制御 システムの開発	軌道決定運用の自動化、手順の簡略化、軌道決定精度向上、最速軌道決定実施タイミングと処理時間の短縮を目標とする。 【性能目標】 GPS軌道決定精度： 3m (3 σ) 最速軌道決定処理： 20分	高い軌道決定精度であり、かつ高速に軌道決定処理を実施することができたため、衛星運用を安定的に行うための重要な要素が整ったことを確認した。 【性能実績】 GPS軌道決定精度： 3m (3 σ) 最速軌道決定算出時間： 11分	達成

D. 5.事業化、波及効果(1/2)

(1) 成果の利用例

「可搬統合型小型地上システムの研究開発」は、次の通り成果利用を想定している。ASNARO衛星シリーズでは、本研究開発成果を利用して地上システムを横展開する予定である。またASNARO-1(光学)衛星打上後、校正検証を実施した上で、必要な手続きを経て民間事業者がこれを利用して、世界マーケットを対象として衛星画像販売、付加価値プロダクト販売、他のコンテンツやシステムと融合したアプリケーション及びサービス展開を行うこと想定している。併せて本研究開発成果を活用し、主に新興国を対象として衛星システムとしての宇宙インフラパッケージ輸出を想定している。

(2) 事業化に至る期間

現状の見通しでは、ASNARO-1(光学)衛星の民間事業者への必要な手続き後、速やかに事業化への展開を実施する予定である。手続き後は1年以内に実施可能である。また、宇宙インフラパッケージ輸出においては、顧客(相手国)の要請を受けて速やかに着手することが可能である。

D. 5.事業化、波及効果(2/2)

(1) 成果の高度化に関する波及効果の事例

ASNARO-1(光学)の研究開発成果は、各国の顧客が抱える課題を解決する手段として利用可能である。例えば、森林管理、農地管理、災害監視及び国土管理等における基盤情報整備や定点モニタリング等を実施することにより、現状把握、計画策定、変化抽出、監視を行うことができる。世界では、前述のようなニーズを持っている国が多数あることから、本研究開発成果への期待度は高い。

(2) 当初想定していなかった波及効果の事例

本研究開発成果の1つである先進的地上システムは、システム単体でも機能するものの、この他の統合運用システム、画像自動判読システム及び内閣府宇宙戦略室において開発された衛星データ利用促進プラットフォーム等を組み合わせて利用することにより、より多様な課題を解決する手段として利用することが可能である。また可搬統合局は、トラックの荷台に衛星管制、軌道制御、運用計画及びデータ処理、アンテナシステム等をオールインワンで搭載したシステム構成となっており、新規に宇宙利用を図ろうとする場合やバックアップ、様々なシチュエーションの現場対応等に活用することが可能である。

費用対効果

費用対効果は、以下の通り想定している。

■本研究開発成果を活用した画像販売等の事業

年間当たり35億円以上の売上(40シーン/日×365日×平均単価250,000円)が見込めることから、衛星ライフを5年とした場合、総額180億円以上の総売上が期待される。

よって、初期投資に対するB/C(182.5億円/47.2億円)=3.9以上となる。

■本研究開発成果を活用した宇宙インフラパッケージ輸出事業

ASNARO-1(光学)をベースとした宇宙インフラパッケージ輸出を行う場合、衛星、地上システム、アンテナシステム、輸送(epsilon利用)、教育までの一式で130億円程度(衛星ライフにおけるメンテナンスは除く)と想定している。現在の新興国の要望から想定すれば、ASNARO-1(光学)の潜在マーケットは3基以上が期待される。

よって、初期投資に対するB/C(390億円/47.2億円)=8.3以上となる。

■可搬統合局を活用した宇宙インフラパッケージ輸出事業

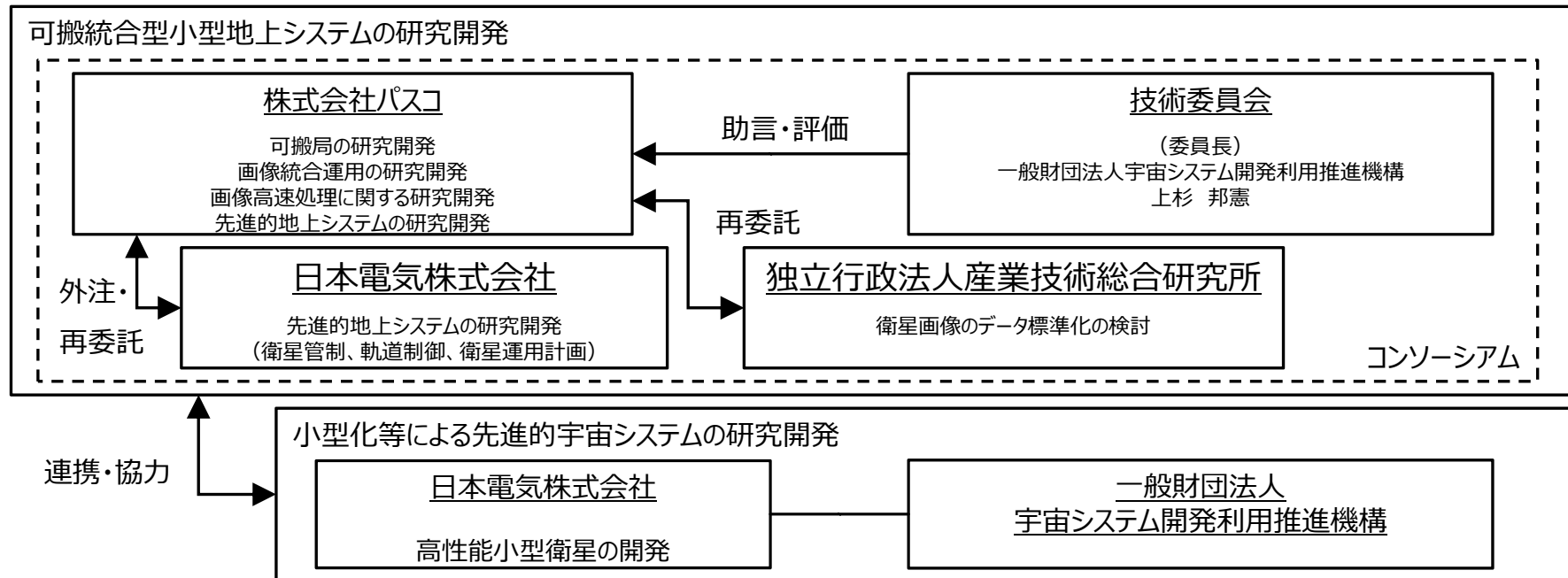
可搬統合局をベースとしたインフラパッケージ輸出を行う場合、対象がASNARO-1(光学)衛星であろうが、他の衛星利用であろうが一式あたり12億円を見込んでいる(国際競争力ある価格)。現在の顧客の要望から想定すれば5台以上が期待される。

よって、初期投資に対するB/C(60億円/47.2億円)=1.3以上となる。

■総合

これらを総合するとASNARO-1(光学)をベースとした費用対効果B/C(632.5億円/47.2億円)=13.4以上となる。

D. 6. 研究開発マネジメント・体制等



研究開発の実施に当たっては、研究開発内容への技術的な助言や実施結果等への適切な評価をいただくため、衛星分野、衛星画像の利活用、コンピュータアーキテクチャに関わる学識経験者、専門家等、7名の国内有識者による技術委員会を設置した。

■技術委員会 委員一覧(敬称略、委員長を除き五十音順)

氏名	職位	所属
上杉 邦憲	委員長	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構 技術顧問 (元独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 名誉教授)
齋藤 宏文	委員	独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 教授
柴崎 亮介	委員	東京大学空間情報科学研究センター センター長
関口 智嗣	委員	独立行政法人産業技術総合研究所グリッド研究センターセンター長
山本 善一	委員	独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 教授
横塚 英世	委員	東海大学情報デザイン工学部 専任准教授
六川 修一	委員	東京大学大学院工学系研究科地球システム工学専攻 教授

D. 7. 評価

D. 7-1. 評価検討会

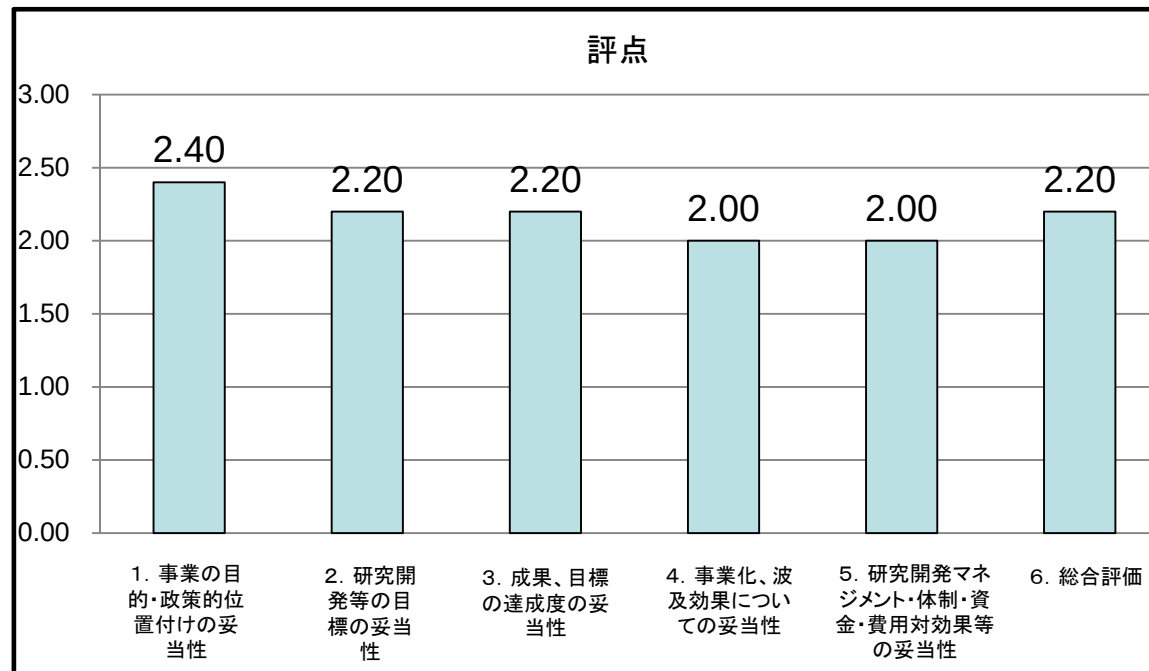
評価検討会名称	宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会	
評価検討会委員	座長	建石 隆太郎 国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター長 教授
	委員	澤谷 邦男 国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部 レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長 中山 裕則 学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授 橋本 英一 元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長 三宅 弘晃 学校法人五島育英会 東京都市大学 工学部機械システム工学科 准教授

D. 7－2. 総合評価(コメント)

- 画像高速処理システムの開発と先進地上システムの開発は、画像の高速処理や撮像計画策定の自動化を可能とすること等により、リモートセンシング衛星の運用の飛躍的な省力化・低コスト化を実現するものであり、国際競争力強化の観点から非常に重要。その成果はASNARO－1衛星の実証運用に活用されるなど、所期の目標を達成できたことは評価できる。
- 小型の可搬統合型地上システム・画像統合運用システムの開発については、通信インフラが不十分な地域での活用や災害時等のバックアップとしての活用が想定されるが、普段のメンテナンスコストが必要になるなど課題も多く、事業化・波及効果が見込めないのではないかという意見もあった。

D. 7-3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 実施された事業は、優れていた。

2点: 実施された事業は、良かった。

1点: 実施された事業は、成果等が今一步のところがあつた。

0点: 実施された事業は、成果等が極めて不十分であつた。

D. 8. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- これまで日本の宇宙関連産業が蓄積してきた人工衛星/センサの開発、運用、解析の技術を継承しながら発展させるという点から、人工衛星の高分解能化や高頻度観測、その高精度かつ高速な運用・処理・解析に資する技術の開発についての検討が必要と考えられる。また、輸出が期待される国々のニーズに即した技術の開発についても検討することが重要と考えられる。

具体的には、例えば、

- 複数衛星/センサによる高頻度観測が可能となるような小型化かつ低コストの高機能衛星/センサ技術の開発(本格的な「小型高機能衛星」の実現)
- 資源探査に有効な高空間分解能・高スペクトルの光学センサの発展的な開発
- 小規模機関や民間などでも十分に利用可能な簡易衛星データ受信・処理・解析の一貫システムの開発
- 多様な地域に対応できる衛星データの高精度解析手法の開発

などが想定される。(A～H事業共通)

提言に対する対処方針

- 今後のリモートセンシング衛星に関わる研究開発に当たっては、これまでに培われた技術を承継・活用し、また、その技術を発展させるものとなるよう、検討を行いながら、取り組んでまいりたい。

輸出が期待される国々・ユーザーのニーズに即した研究開発についても、検討してまいりたい。

Ⅴ 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
(中間評価)

製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

E. 1.ASTER/PALSAR等の研究開発の概要

ASTER : 極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システム

PALSAR: 次世代合成開口レーダ

概 要	地球資源衛星(JERS-1)の成果を引継ぎ、高機能・高性能化を図った。資源探査観測システム(ASTER)の開発及び軌道上のミッション運用を行う。
実施期間	昭和62年度～平成27年度 (29年間)
予算総額	309. 9億円(委託事業) (平成23年度:1. 0億円 平成24年度:0. 8億円 平成25年度:0. 7億円 平成26年度:0. 7億円)
実 施 者	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構
プロジェクト リーダー	技術開発本部 ミッション開発部 菊池雅邦(担当部長)

ASTERの概要

(参考)

ASTERの特長

- ・地球資源衛星1号(JERS-1)の資源探査を継続して、可視近赤外域、短波長赤外域、熱赤外域と観測波長帯が広く、14の観測バンドに細かく分けて観測することができ、岩石や鉱物の探査や地質構造の識別に優れている。
- ・熱赤外域を5の観測バンドで観測することができ、ランドサットに次ぐものである。
- ・地球環境問題に貢献する国際協力プロジェクトの一翼である。

ASTERの概観図

ASTERの主要諸元

(1) 分解能:

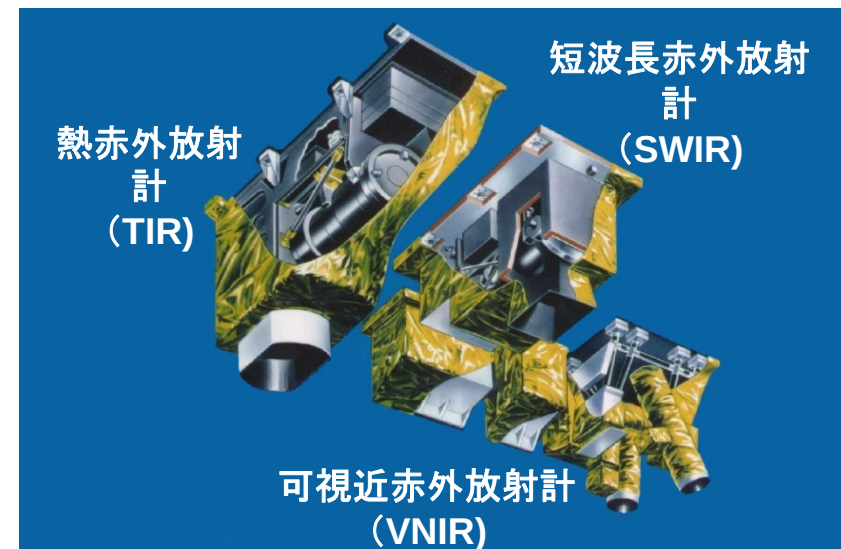
可視近赤外放射計(VNIR) 15 × 15(m)
(JERS-1:18.3m × 24.2m)

短波長赤外放射計(SWIR) 30 × 30(m)
(JERS-1に対してバンド数増加)

熱赤外放射計(TIR) 90 × 90(m)
(JERS-1は搭載していない)

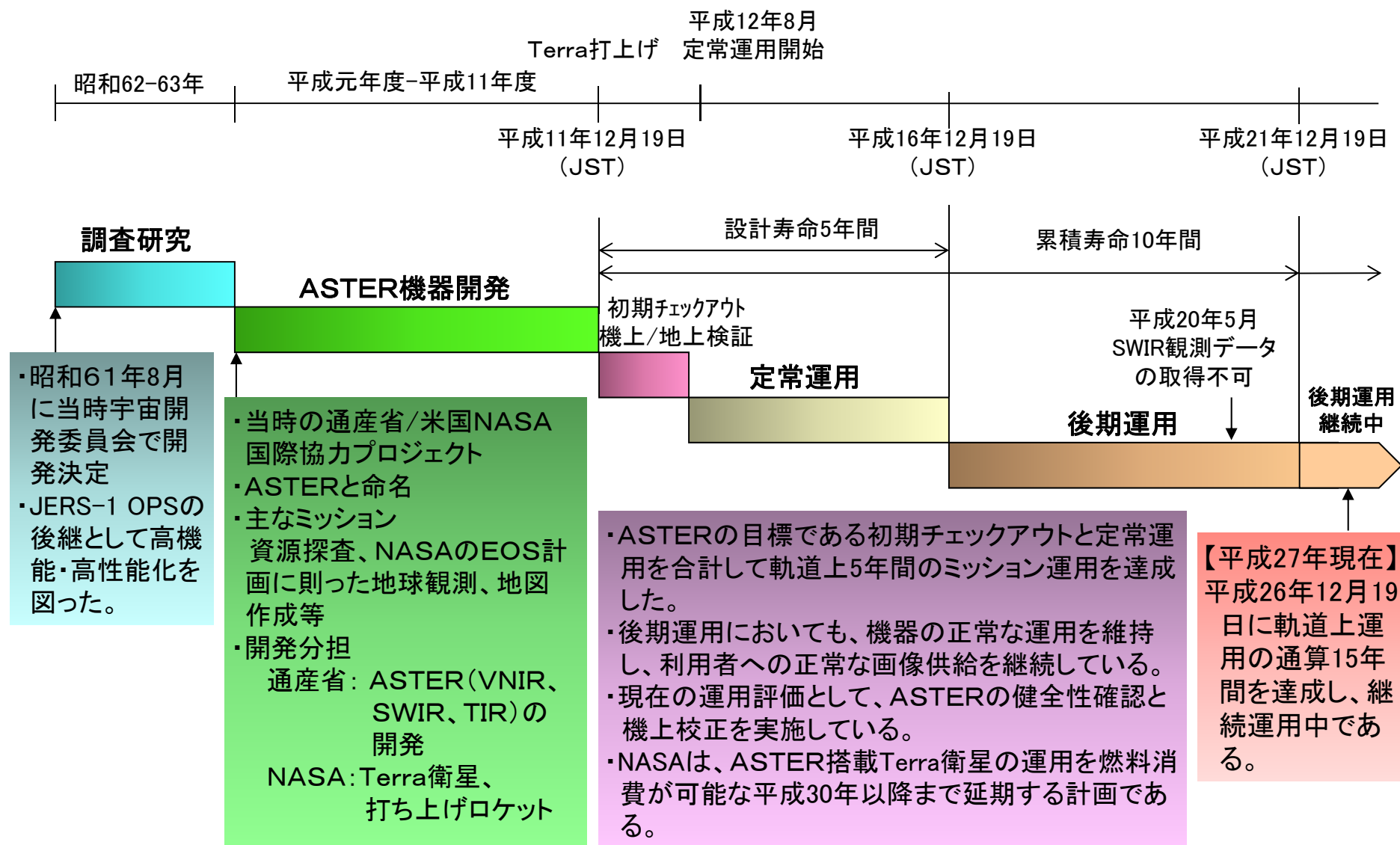
(2) 観測幅: 60km

(JERS-1に対してポインティング機能追加)



ASTERの経緯

(参考)



PALSARの概要

(参考)

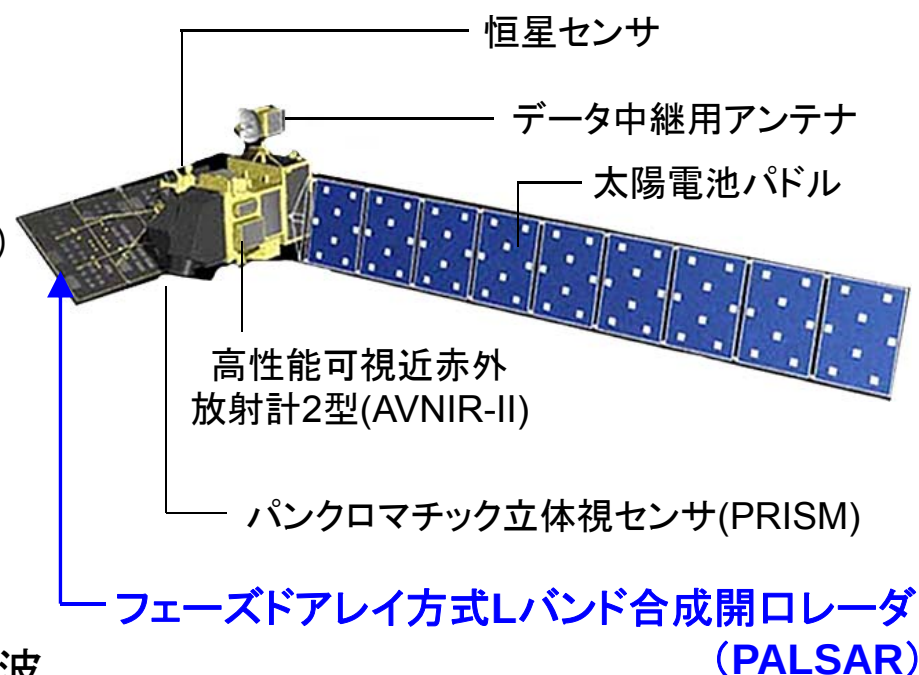
PALSARの特長

JERS-1の経験を生かし、Lバンド多偏波合成開口レーダという世界初の技術を持ったセンサです。

Lバンドは植生の透過性から地表面の観測にも優れており、世界で唯一のLバンド合成開口レーダです。

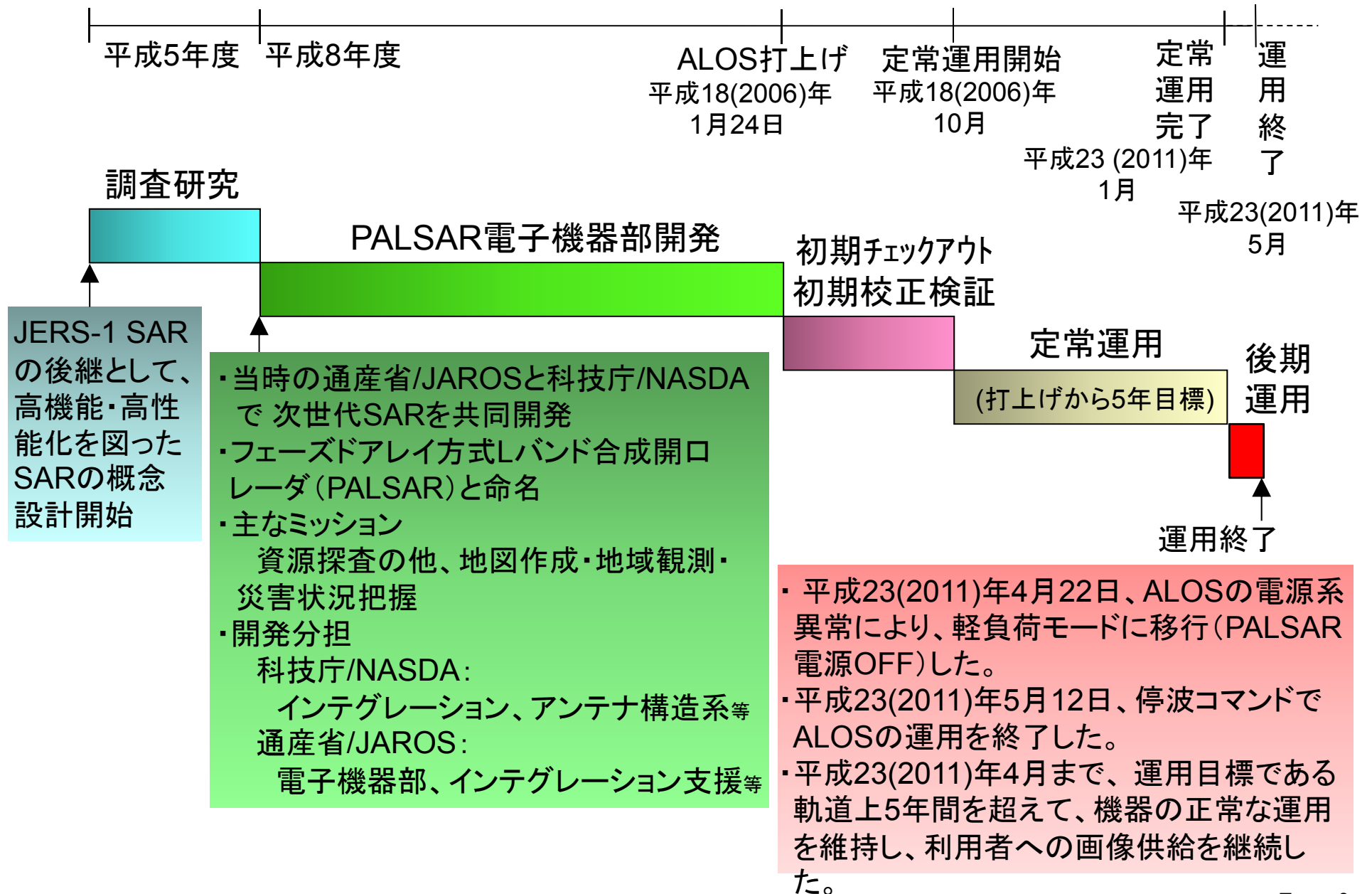
PALSARの開発目標

- (1) 周波数帯:Lバンド
(JERS-1データの継続性保持)
- (2) 分解能 : 10m~100m
(JERS-1 : 18m)
- (3) 観測幅 : 30km~350km
(JERS-1 : 75km)
- (4) 観測角 : 10° ~51°
(JERS-1 : 35°)
- (5) 多偏波 : HH & HV & VH & VV
ここでH:垂直偏波 V:水平偏波
(JERS-1 : 単一偏波HH)
- (6) 昼夜、天候にかかわらず観測可能



PALSARの経緯

(参考)



E. 2.プロジェクトの目的・政策的位置付け

宇宙基本法(平成20年法律第43号)

(第4条)

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。

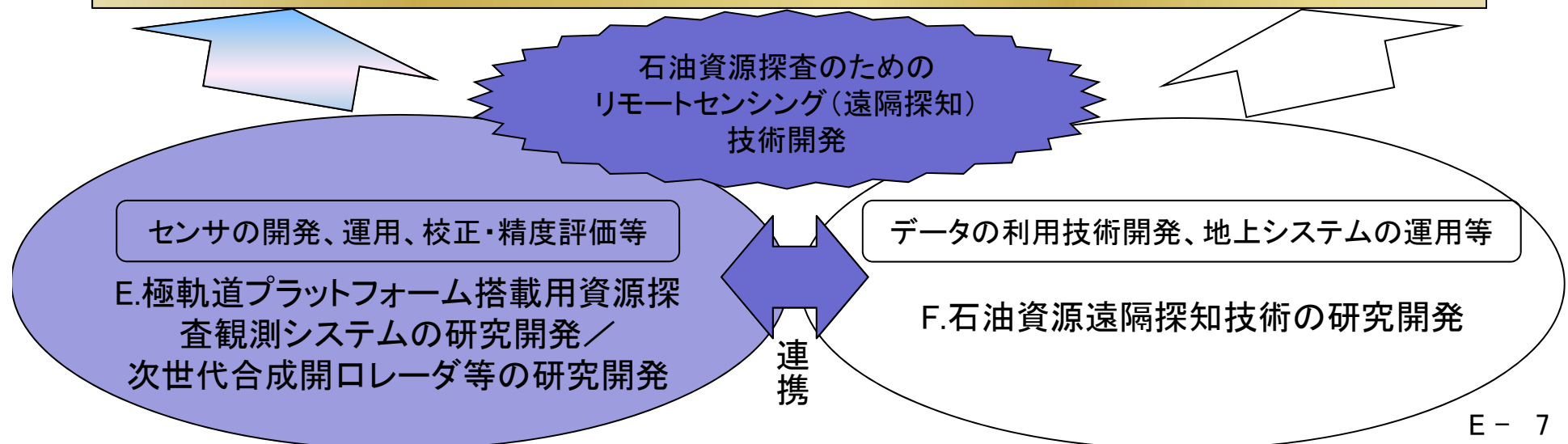
宇宙基本計画(平成21年6月2日宇宙開発戦略本部決定)

○宇宙開発利用の推進

→「宇宙を活用した安心・安全で豊かな社会の実現」

・・・公共の安全の確保、国土保全・管理、食糧供給の円滑化、資源・エネルギー供給の円滑化、地球規模の環境問題の解決(低炭素社会の実現)、豊かな国民生活の質の向上(健康長寿社会の実現や利便性向上など)、持続的な産業の発展と雇用の創出など、様々な社会的ニーズに応じる宇宙開発利用を目指す。

2030年までに、我が国の石油及び天然ガスを含めた自主開発比率を40%以上まで引き上げることを目標
(「エネルギー基本計画」(平成22年6月))



E. 3.目標

資源探査観測システム(ASTER)の開発と軌道上運用(定常運用:5年間、後期運用:5年以上)である。なお、ASTERの開発は目標を達成し、軌道上運用中である。
 特にASTERの観測バンドは、資源探査(石油、天然ガス、鉱物資源)のための反射スペクトルと対応付けられており、遠隔探知によるデータ利用に貢献している。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
ASTER 軌道上運用 ・定常運用 (5年間) ・後期運用 (5年以上)	①テレメトリデータによる機器の 正常動作確認 (オンラインTLMモニタリング:毎日) ②画像データによる性能評価 (画像評価データの取得:年2回) ③定期校正データによる機上 校正・検証 (機上校正データの取得:49日毎) (16日回帰軌道の3回帰毎に実施) ④データトレンドによる機器の 長期的健全性確認 (アーカイブTLMデータトレンド:毎月)	石油資源探査に必要なデータを確実に取得するためには、機器の健全性に係る各種データを 確認し、正常な状態を維持する必要があるため。

E. 4.成果、目標の達成度 (1/2)

ASTERの軌道上運用について、平成23年度～平成26年度は、定常運用及びそれに続く後期運用の中で短波長赤外放射計(SWIR)を除く機器の正常な運用を維持し、利用者への画像供給も継続でき、目標を達成できた。

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
ASTER 軌道上運用 ・定常運用 (5年間) ・後期運用 (5年以上)	①テレメトリデータによる機器の 正常動作確認 (オンラインTLMモニタリング:毎日) ②画像データによる性能評価 (画像評価データの取得:年2回)	各機器の温度、電流、電圧等の テレメトリデータが正常な動作範 囲内に維持されており、長期にわ たる機器の安定動作が確保され ていることを確認した。 機器評価のための観測画像デー タを取得し、ポインティング機能の 正常動作確認及びジオメトリック 性能としての地表分解能が開発 仕様を満足していることを確認し た。	ASTER 定常運用の ミッションサク セスを達成 後期運用は VNIRとTIRに ついてエクス トラサクセス を達成

E. 4.成果、目標の達成度 (2/2)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
ASTER 軌道上運用 ・定常運用 (5年間) ・後期運用 (5年以上)	③定期校正データによる機上 校正・検証 (機上校正データの取得:49日毎) (16日回帰軌道の3回帰毎に実施) ④データトレンドによる機器の 長期的健全性確認 (アーカイブTLMデータトレンド:毎月)	各放射計の定期校正データを取得し、機上校正機能の正常確認及びラジオメトリック性能としての分光特性の経年変化を評価した。経年変化による感度低下については、感度補正の校正係数を算出し、観測データに反映することにより高品質の画像生成を維持することができた。 機器のポインティング動作の累積回数管理及び温度、電流、電圧の特性値管理によるトレンド評価を継続して行い、長期運用による機器の劣化や変動傾向がなく健全性が維持されていることを確認した。	ASTER 定常運用の ミッションサク セスを達成 後期運用は VNIRとTIRに ついてエクス トラサクセス を達成

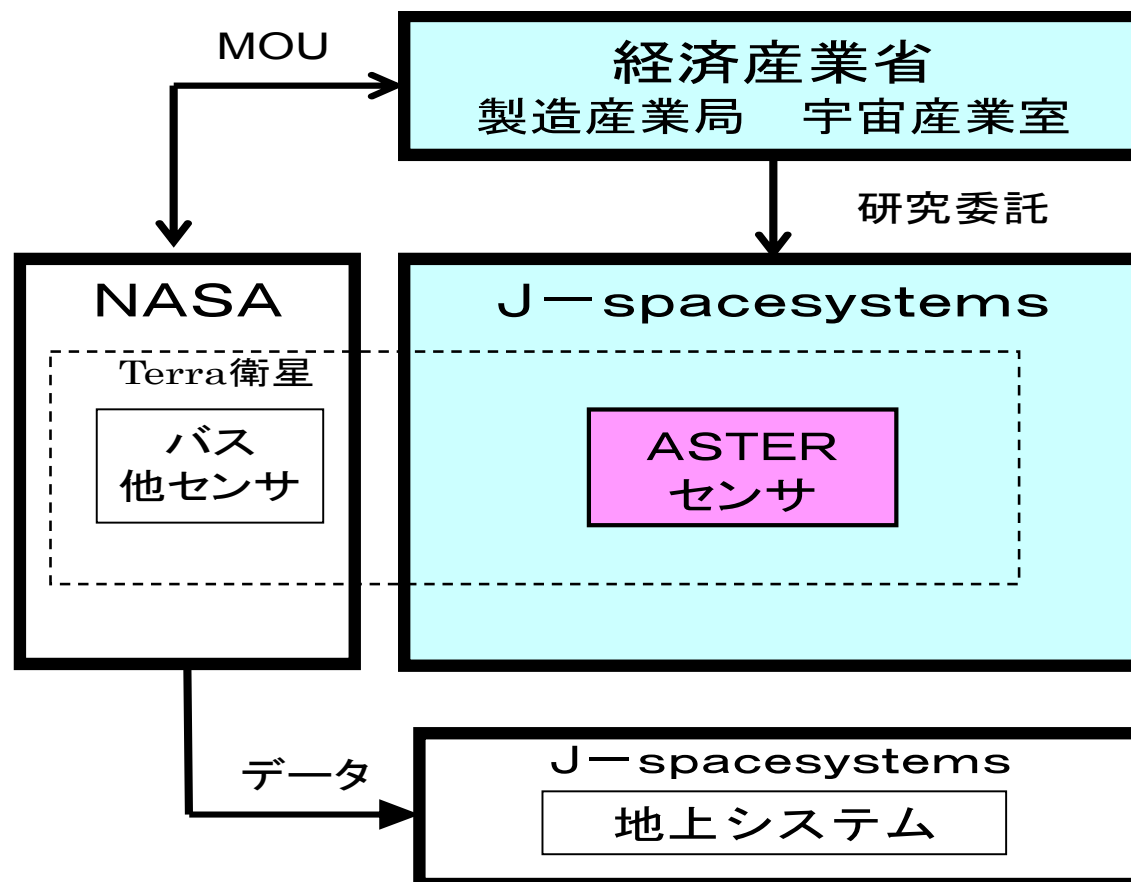
E. 5.事業化、波及効果

前回の中間評価(平成23年)以降も、ASTERの定常的かつ正常な運用を達成し、2. Fのプロジェクトに必要なデータを確実に取得している。

事業化・波及効果については「2. F石油資源遠隔探知技術」を参照のこと。

E. 6. 研究開発マネジメント・体制等

※太枠着色部分が、本事業における実施範囲である。



E. 7. 前回の中間評価(平成23年度)の結果

中間評価コメント

- 事業(プロジェクト)によっては、既に確立されつつある技術の実用化と長期的な観点から技術レベルの向上を図るものがある。両者とも全体としての目標と、それを具体化するための個別要素技術の達成目標を立てて事業化してゆくのが望ましい。
(全事業共通)
- 目標設定が必要によって決定されることが重要であり、達成可能見込みから判断して目標設定が付けられないことがないかを注視する必要がある。(全事業共通)

提言に対する対処方針

- 全体目標とそれを達成するための個別要素技術の目標を立てて実施しており、引き続き事業化に向けて取り組んでまいりたい。なお、本事業においては、センサの開発及び安定的な運用を図ることを全体目標としており、また、それぞれの構成機器等においても個別に評価指標を設定している。
- 目標を設定する際には、事業者側からのみならず、利用者の視点も踏まえた目標となるよう努めているところである。なお、本事業においては、別途実施している、石油資源遠隔探知技術の研究開発において利用事業を実施しており、関係者間の情報共有等も図っているところである。

E. 8. 評価

E. 8－1. 評価検討会

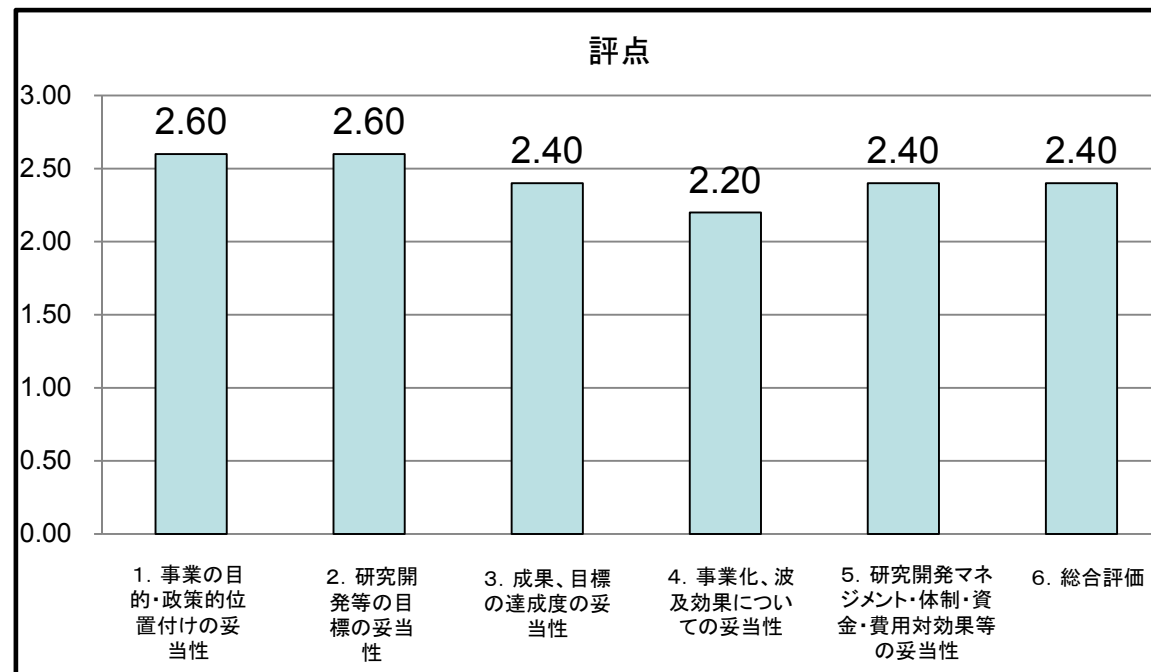
評価検討会名称	宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会	
評価検討会委員	座長	建石 隆太郎 国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター長 教授
	委員	澤谷 邦男 国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部 レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長 中山 裕則 学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授 橋本 英一 元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長 三宅 弘晃 学校法人五島育英会 東京都市大学 工学部機械システム工学科 准教授

E. 8－2. 総合評価(コメント)

- ASTERについて15年間運用を継続しているというのは驚異的な成果であり、長期にわたって正常な運用を続けてきたことは高く評価できる。この間、ASTERデータの継続的・安定的な利用と蓄積を可能にすることにより、石油資源の探査等において多くの成果をあげてきたと言える。
- 今後は、衛星リモートセンシングデータに対するニーズの拡大や海外の競合するリモートセンシング衛星の状況を踏まえて、アーカイブデータも含め、他分野での活用など、より広いユーザーに活用してもらう方策を検討すべきである。
- さらに、本システムで蓄積したデータの評価等を踏まえ、次世代のセンサ開発に是非つなげていただきたい。

E. 8－3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト中間評価において、評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

E. 9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- これまで日本の宇宙関連産業が蓄積してきた人工衛星/センサの開発、運用、解析の技術を継承しながら発展させるという点から、人工衛星の高分解能化や高頻度観測、その高精度かつ高速な運用・処理・解析に資する技術の開発についての検討が必要と考えられる。また、輸出が期待される国々のニーズに即した技術の開発についても検討することが重要と考えられる。

具体的には、例えば、

- 複数衛星/センサによる高頻度観測が可能となるような小型化かつ低コストの高機能衛星/センサ技術の開発(本格的な「小型高機能衛星」の実現)
- 資源探査に有効な高空間分解能・高スペクトルの光学センサの発展的な開発
- 小規模機関や民間などでも十分に利用可能な簡易衛星データ受信・処理・解析の一貫システムの開発
- 多様な地域に対応できる衛星データの高精度解析手法の開発

などが想定される。(A～H事業共通)

提言に対する対処方針

- 今後のリモートセンシング衛星に関わる研究開発に当たっては、これまでに培われた技術を承継・活用し、また、その技術を発展させるものとなるよう、検討を行いながら、取り組んでまいりたい。

輸出が期待される国々・ユーザーのニーズに即した研究開発についても、検討してまいりたい。

F 石油資源遠隔探知技術の研究開発 (中間評価)

製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

F. 1.石油資源遠隔探知技術の研究開発の概要

概 要	人工衛星から取得される画像データを用いて、石油ガス資源探鉱の効率化、権益確保のための事前情報取得など、石油ガス資源の安定供給確保に貢献できる衛星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。
実施期間	昭和56年度～平成28年度(35年間)
予算総額	715. 2億円(委託事業) (平成23年度:11. 5億円 平成24年度:8. 7億円 平成25年度:7. 4億円 平成26年度:6. 4億円)
実 施 者	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構(J-spacesystems) 国立研究開発法人産業技術総合研究所(AIST)
プロジェクト リーダー	津 宏治 (J-spacesystems利用技術本部長) 佃 栄吉 (AIST地質分野研究コーディネータ)

F. 2.プロジェクトの目的・政策的位置付け

宇宙基本法(平成20年法律第43号)

(第4条)

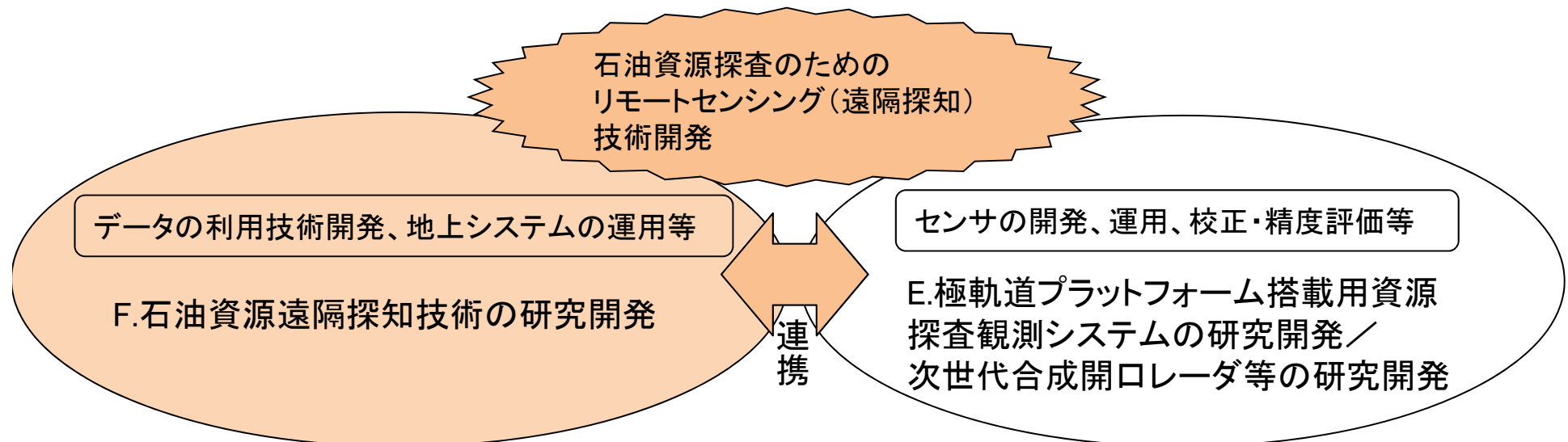
宇宙開発利用は、宇宙開発利用の積極的かつ計画的な推進、宇宙開発利用に関する研究開発の成果の円滑な企業化等により、我が国の宇宙産業その他の産業の技術力及び国際競争力の強化をもたらし、もって我が国産業の振興に資するよう行われなければならない。

宇宙基本計画(平成21年6月2日宇宙開発戦略本部決定)

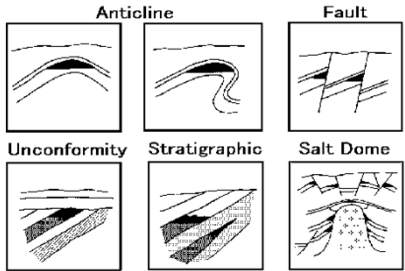
○宇宙開発利用の推進

→「宇宙を活用した安心・安全で豊かな社会の実現」

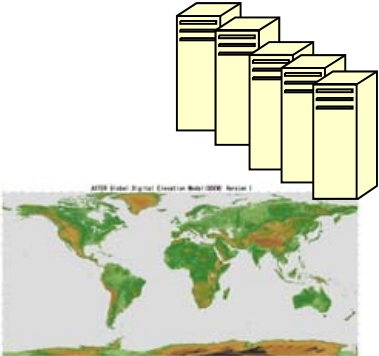
…公共の安全の確保、国土保全・管理、食糧供給の円滑化、資源・エネルギー供給の円滑化、地球規模の環境問題の解決(低炭素社会の実現)、豊かな国民生活の質の向上(健康長寿社会の実現や利便性向上など)、持続的な産業の発展と雇用の創出など、様々な社会的ニーズに応じる宇宙開発利用を目指す。



F. 3.目標(1/2)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
①石油ガス資源探査等への利用手法の確立 	目標:資源探査の効率化等に資するため、ASTER・PALSARデータについて、石油ガス鉱床タイプや地表状況等に応じた利用手法を確立するとともに、ユーザーの要望を踏まえて事例研究を行う。また、リモートセンシング技術の活用が見込まれるその他の分野における解析アルゴリズムを確立する。 指標:利用手法の確立・事例研究および解析アルゴリズムを確立した事例件数とする。	国内資源企業における、衛星データの実利用推進により、石油ガス資源の安定供給確保に貢献するために、各種のケースに対応した手法を確立することが必要である。また、衛星データの利用効果が高いと考えられる資源・地球環境・防災等への応用に向けて、衛星データ解析アルゴリズムの開発が必要である。
②地上データシステム運用・品質管理 	目標:資源探査等に活用できる品質の保証されたASTER・PALSARデータプロダクトを提供する。 指標:ASTER・PALSARにおける、以下の項目の達成度とする。 (ア)適切な観測計画の作成 (イ)観測データの全量入手・保存 (ウ)目標精度の維持 (エ)プロダクトの処理・生産 (オ)プロダクトの配付と利用推進	資源探査等への活用には、地上データシステムにより、事業目的に最適化した観測計画を作成し、観測データを全量入手・保存し、ユーザへタイムリーに品質管理された標準・高次処理プロダクトの生産・配付することが必要であるため。

F. 3.目標(2/2)

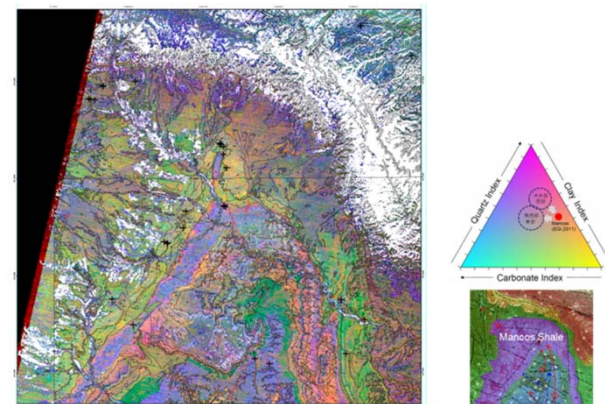
要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
③次世代アーカイブシステムおよび広域マップの整備 	目標: ユーザに対してより利用し易い衛星データを継続的に提供するため、大量データを扱うことが可能な次世代アーカイブシステムを構築するとともに、次世代プロダクトとなる広域マップを整備する。 指標: ASTER及びPALSARデータの高速再処理アルゴリズム開発、標準化対応等の実現度合い、整備した広域マップの種類と整備範囲とする。	衛星データを大量かつ継続的にユーザに提供するためには、大容量のアーカイブシステム、迅速に再処理が可能な高速処理アルゴリズムの開発等が必要となる。また、リモートセンシングの専門家でないユーザへの利用を推進するためには、従来よりも利用しやすい形式で広域の地質・資源情報整備を行う必要がある。

F. 4.成果、目標の達成度①(1/2)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
①石油ガス資源探査等への利用手法の確立	目標: ASTER・PALSARデータについて、石油ガス鉱床タイプや地表状況等に応じた資源探査利用等への利用手法の確立及び事例研究を行うこと。 指標: 利用手法の確立及び事例研究を行った件数とする。	ASTERおよびPALSARデータについて、石油ガス鉱床の地表・貯留構造等に応じた石油資源探査技術を開発し、資源ユーザの要望に応じ、石油資源の産出可能性がある地域における事例研究を行った。これまで合計57件(平成23年度から26年度にかけては16件)の事例研究を行った。	達成

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(タイ)	アルゼンチン等の2地域	中国等の8地域(イラク3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7地域(アンゴラ、コンゴ、ウガンダ)	-	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(ケニア)
非在来型資源 CBM/オイルサンド/シェールガス (利用者要望: 中～大)	CBM: インドネシア等の3地域(オーストラリア2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(米国、カナダ)			
大規模油ガス田生産量監視技術 (利用者要望: 大)	イラク等の6地域(サウジアラビア、クウェート、アルジェリア、ベネズエラ、西シベリア)			
開発時の環境監視技術 (利用者要望: 大)	北極圏1地域(同地域)			

カッコ内は最新(平成23年～平成26年)に実施した地域



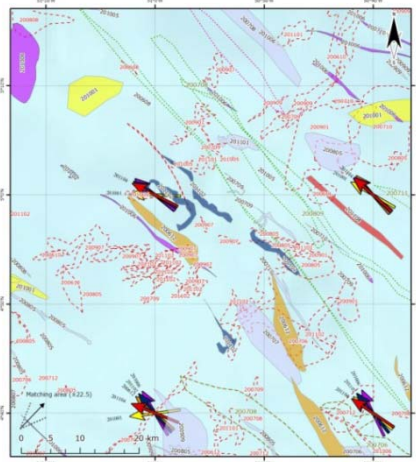
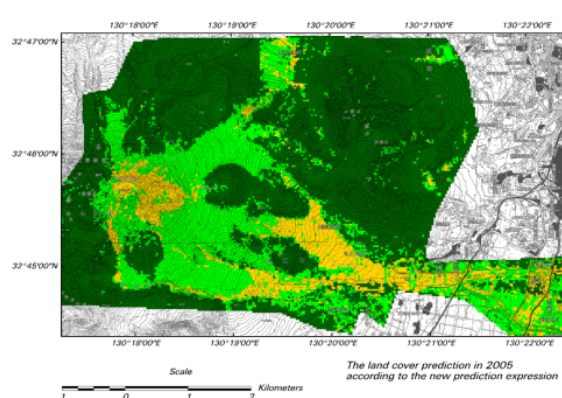
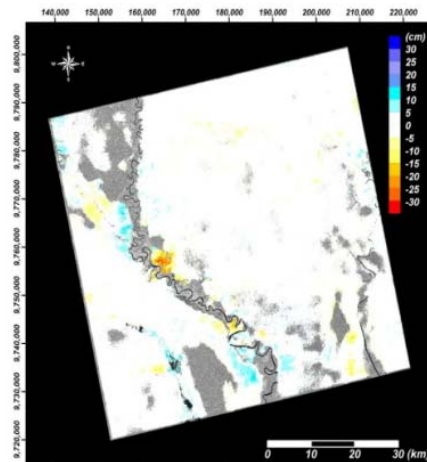
Mancos頁岩分布域の鉱物分布特性



北極海の海水モニタリング F - 6

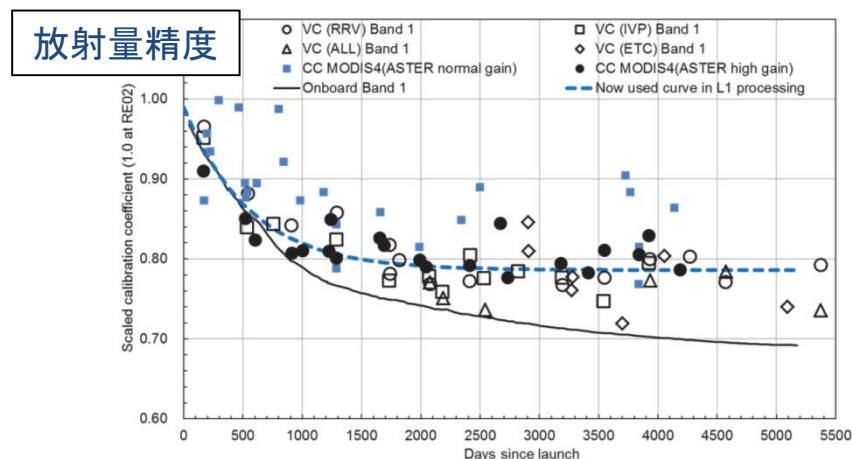
F. 4.成果、目標の達成度①(2/2)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
①石油ガス資源探査等への利用手法の確立	目標: ASTER・PALSARデータについて、リモートセンシング技術の活用が見込まれるその他の分野における解析アルゴリズムを確立すること 指標: 解析アルゴリズムを確立した事例件数とする。	ASTERおよび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・地球環境・防災等)における課題を解決するために、必要な情報を抽出する解析アルゴリズムを合計66件(平成23年度～26年度: 4件)開発した。	達成

分野	資 源	環 境	防 災
研究名	スリナム～ブラジル北部沖合におけるスリック抽出とオイルスリック判別手法の検討	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	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
事例	 形状で判別したオイルスリック分布図 (破線: 除外されたオイルスリック)	 ASTERのミクセル分解による高精度 植生被覆分類手法を用いた土地被覆予想図	 PALSARで作成した高精度DEMから 得られた地盤沈下の変動量推定図

F. 4.成果、目標の達成度②(1/2)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
②地上データシステム運用・品質管理	目標: ユーザに対して品質の保証されたASTER・PALSARデータプロダクトを提供すること。 指標: ASTER・PALSARにおける、以下の項目の達成度とする。 (ア) 適切な観測計画の作成 (イ) 観測データの全量入手・保存 (ウ) 目標精度の維持 (エ) プロダクトの処理・生産 (オ) プロダクトの配付と利用推進	(ア) リモートセンシングを活用する様々な分野の有識者からなる委員会において提案されたユーザ要望を取りまとめた観測計画を滞りなく作成した。 (イ) 観測計画に基づき、ASTER・PALSARの観測データを全量入手し保存した。 (ウ) 幾何精度50m以内、放射量精度可視近赤外$\pm 2\%$、熱赤外± 1度の精度を維持した。	達成

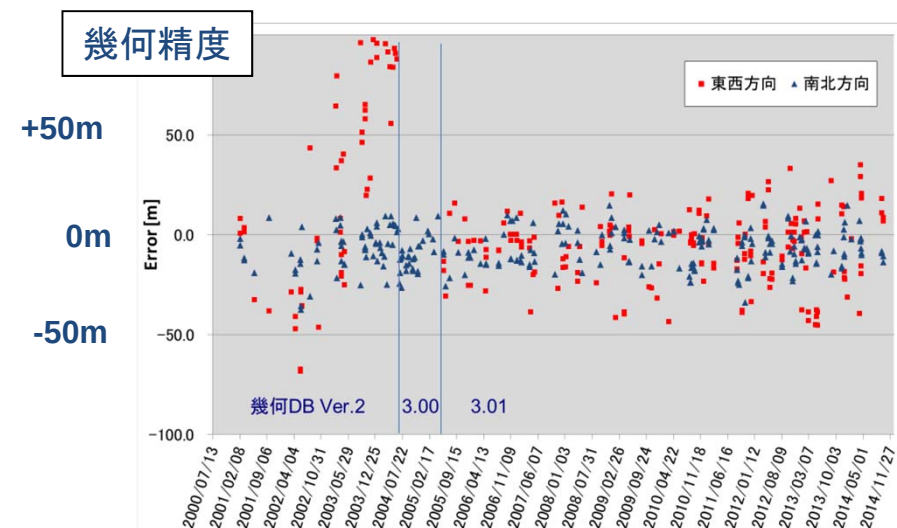


ASTERバンド1の放射量感度経年劣化の解析

黒実線: 機上校正の結果

○□△◇: 代替校正の結果

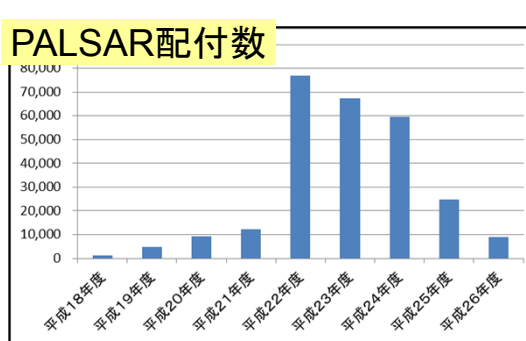
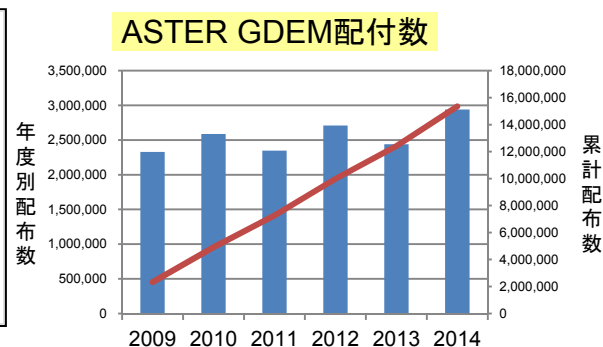
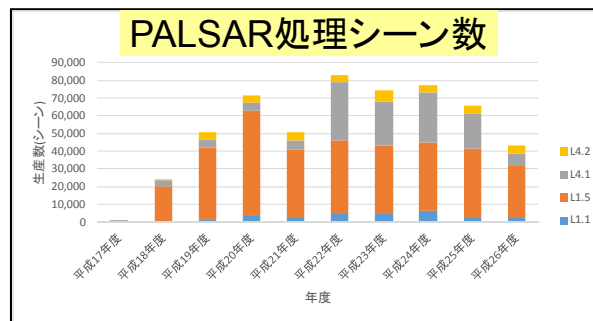
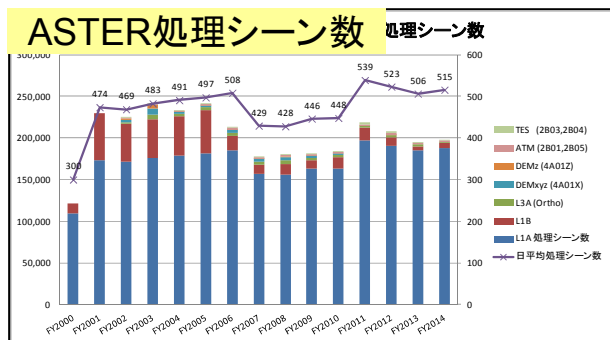
●: 相互校正の結果



ASTERの位置精度検証結果
(打ち上げ～平成26年度)

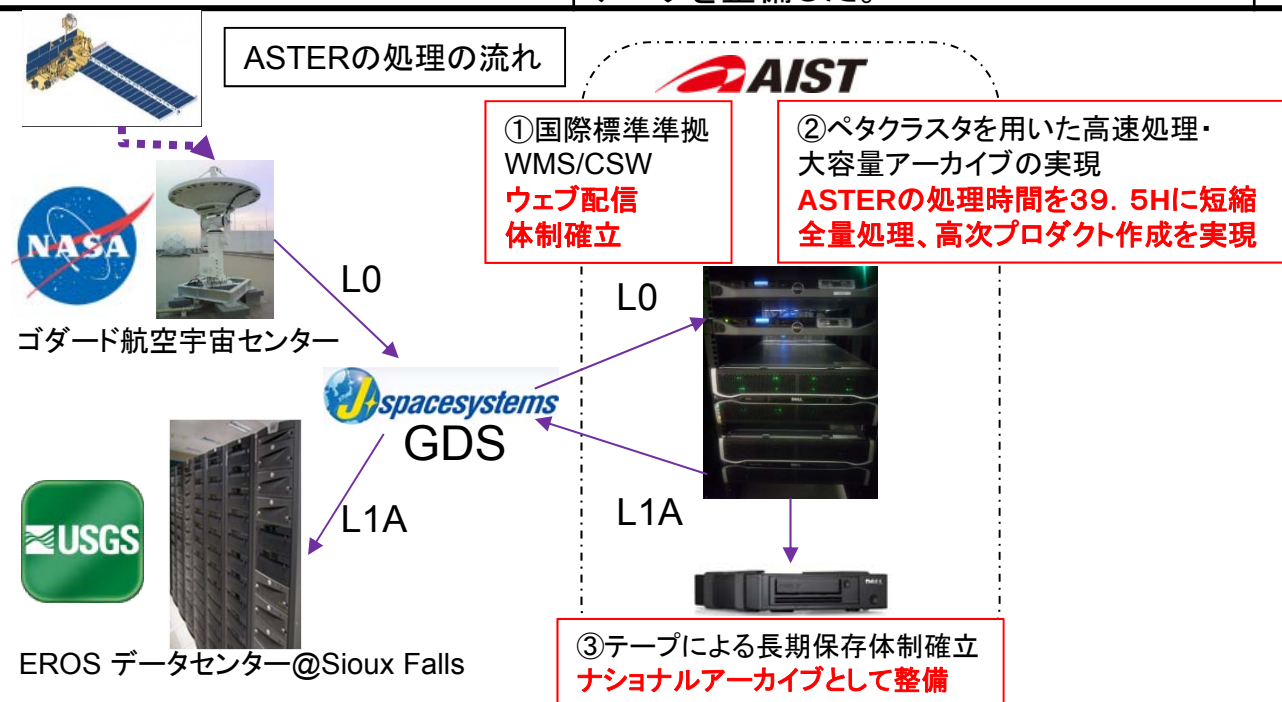
F. 4.成果、目標の達成度②(2/2)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
②地上データシステム運用・品質管理	目標: ユーザに対して品質の保証されたASTER・PALSARデータプロダクトを提供すること。 指標: ASTER・PALSARにおける、以下の項目の達成度とする。 (ア) 適切な観測計画の作成 (イ) 観測データの全量入手・保存 (ウ) 目標精度の維持 (エ) プロダクトの処理・生産 (オ) プロダクトの配付と利用推進	(エ) ASTER・PALSARの全量を適切に標準処理した。また、オンデマンドで高次処理プロダクトを作成した。 (オ) 標準・高次処理プロダクト累計28万シーン(H23～26: 約7万シーン)を配布した。そのうち、資源探査等に資する共同研究に約17万シーンを利用し、一般利用者に約11万シーンを有償配布した。また、全球GDEM(Ver2)を約1500万件(H23～26: 1040万件)配付して、広い分野における衛星データ利用産業の振興に貢献した。	達成



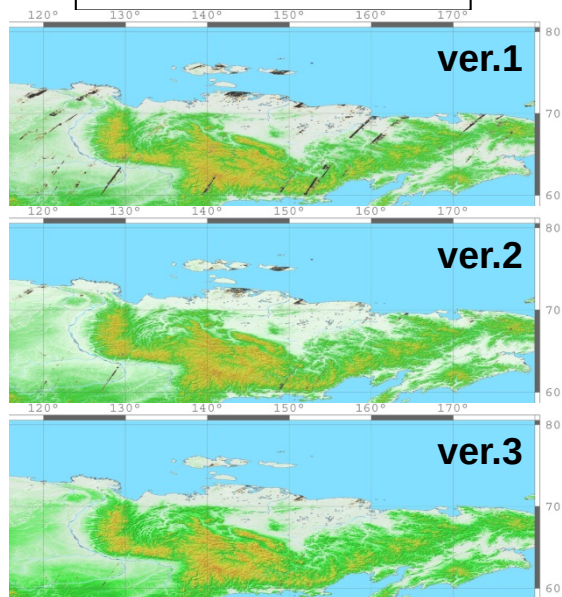
F. 4.成果、目標の達成度③(1/2)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
③次世代アーカイブシステムおよび広域マップの整備	目標: ユーザに対してより利用し易い衛星データを継続的に提供するため、大量データを扱うことが可能な次世代アーカイブシステムを構築するとともに、次世代プロダクトとなる広域マップを整備する。 指標: ASTER及びPALSARの高速再処理アルゴリズム開発、標準化対応等の実現度合い、整備した広域マップの種類と整備範囲とする。	ペタバイト級のデータアーカイブシステムを導入し、ASTER・PALSARデータの高速処理が可能なアーカイブシステムを実現し、全てのデータの再処理、アーカイブを実現した。提供システムに関しては、GISデータの国際標準規格であるOGC標準2種の最新版に対応した。 全球DEM (ASTER GDEM) ver.3・オイルスリックDB・時系列DEM/オルソデータ、全球モザイクオルソ画像、全球放射率データを整備した。	達成



F. 4.成果、目標の達成度③(2/2)

ASTER GDEM ver.3



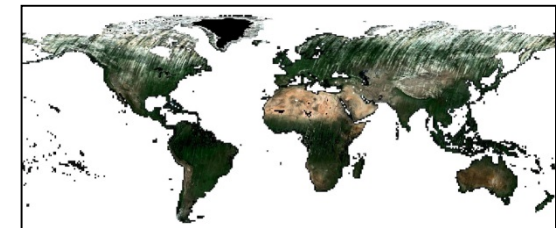
欠損域低減@シベリア

オイルスリックDB

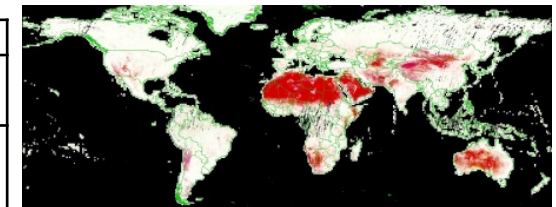


対象海域	精度向上のための研究内容
スリナム～ブラジル沖	データ選定作業支援システム利用、オイルスリックの効率的判別手法
東アフリカ沖	データ選定作業支援システム利用、ケニア、タンザニア、モザンビーク沖のオイルスリックマッピングと探鉱ポテンシャル評価
アンゴラ・コンゴ沿岸	データ選定作業支援システム利用、ガボン堆積盆地海上油徴の抽出、陸域の解析

地質情報DB



全球モザイクオルソ画像



全球放射率データ

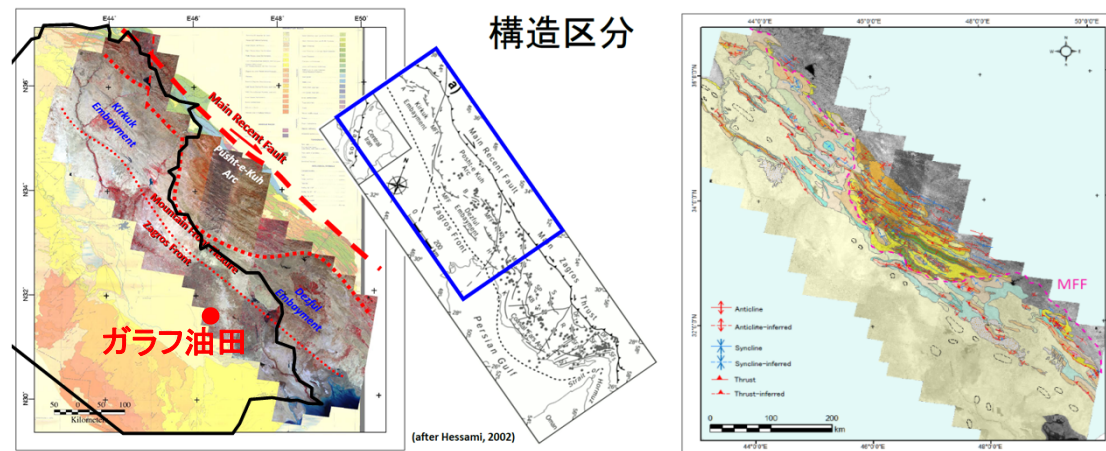
F. 5.事業化、波及効果(1/2)

①資源探査の効率化等に資する利用手法の開発・事例研究

- ASTER及びPALASRデータについて、石油資源開発企業等と石油資源探査の効率化等に資する利用手法の共同開発・事例研究を行った結果、これまで7件が油ガス田開発に、2件が開発計画の策定に、7件が鉱区取得につながった。

【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、平成13年、平成17年、平成22年～平成25年度と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

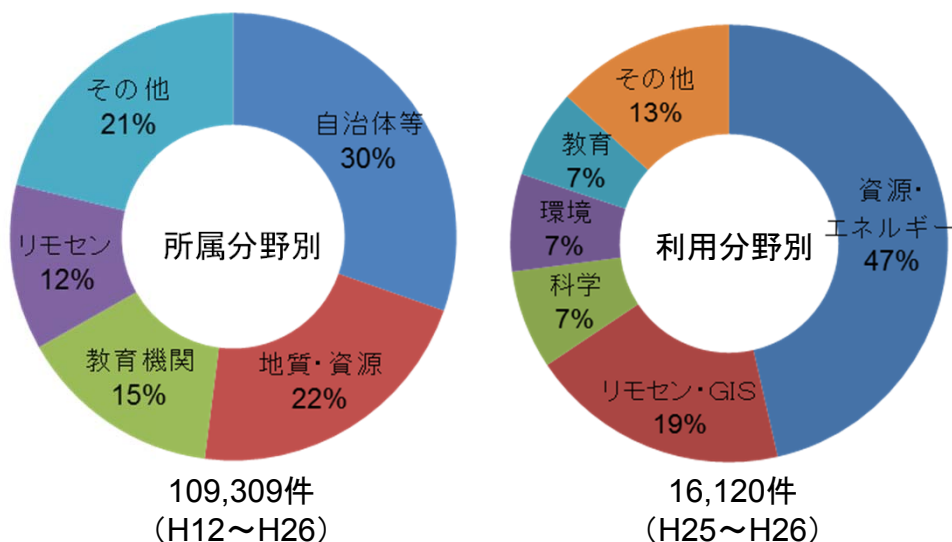
- 石油資源探査以外の分野(鉱物資源・地球環境・防災等)についても、鉱物資源探査をはじめ、共同開発を行った解析アルゴリズム及びASTER・PALSARの有償データ等を用い、データの実利用がされている。
- 特に、鉱物資源探査分野においては、これまでに20以上の事例において鉱区取得・探鉱につながった。

F. 5.事業化、波及効果(2/2)

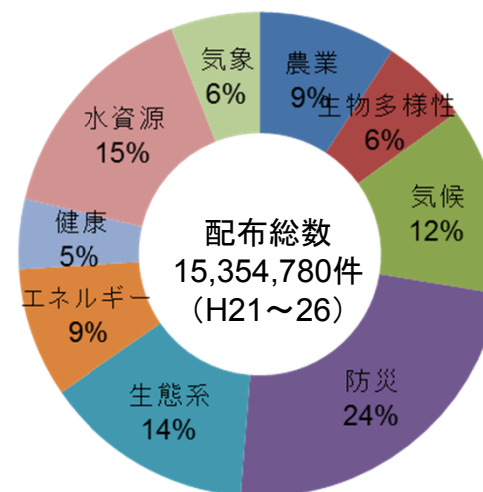
②地上データシステム運用・品質管理及びデータ配布

- 地上データシステムにより処理されたプロダクトは、①の利用手法・開発に利用されている他、一般のユーザーにも有償配布され、活用が進んでいる。
- また、ASTERデータから作成されたGDEMデータも、幅広い分野のユーザに利用されている。

ASTER・PALSARデータ有償配布数



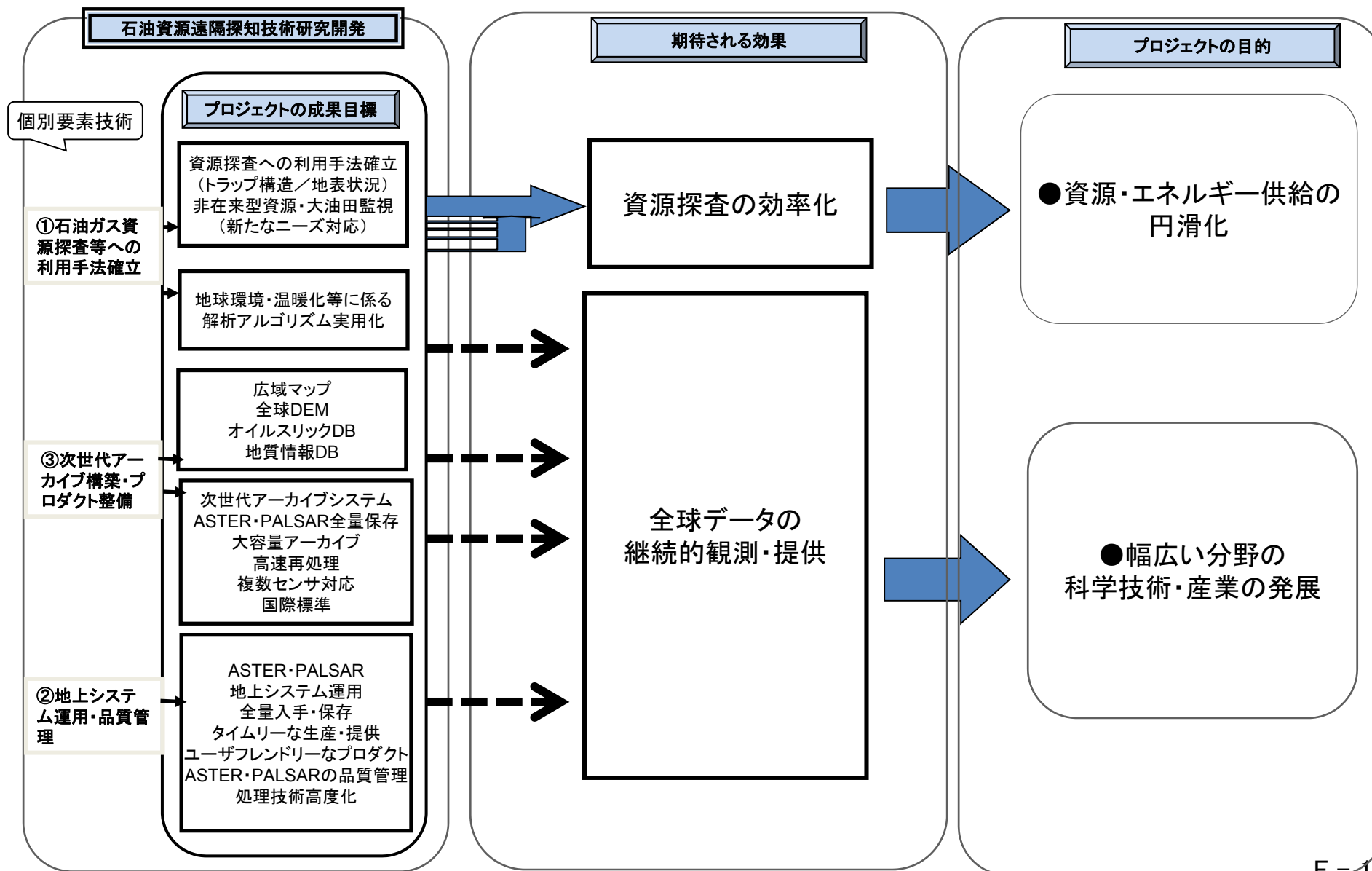
ASTER GDEM ユーザ属性



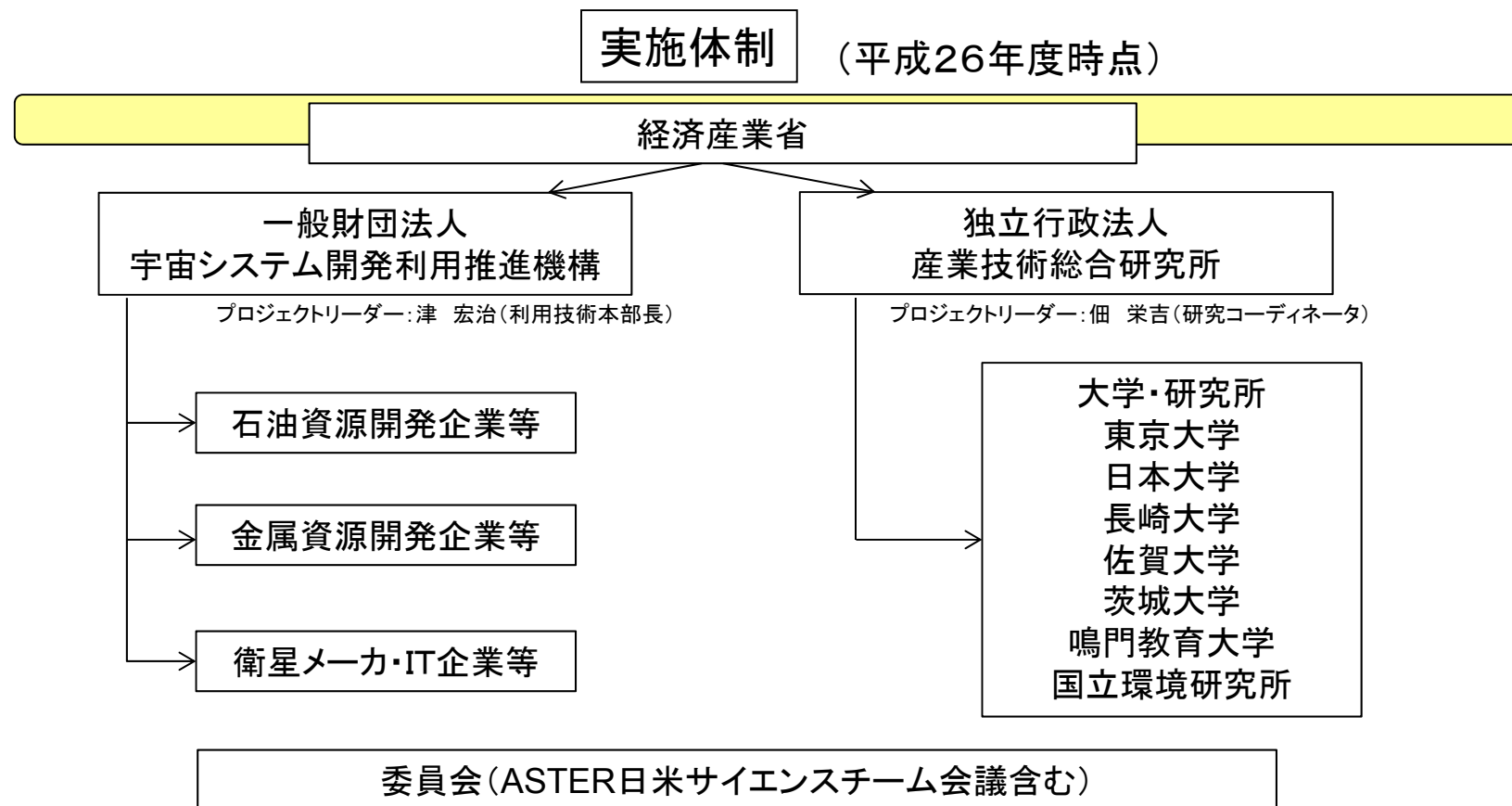
③次世代アーカイブシステム及び広域マップの整備

- データ配布をより効率的に行うため、次世代アーカイブシステムを整備した。
- 当該アーカイブには、ASTER・PALSARデータに加え、これらのデータから作成したオイルスリックDB、地質情報DBが整備されており、これらDBと合わせ、より広いユーザからの利用が見込まれる。

プロジェクトのアウトカム(プロジェクトの成果が及ぼす効果等)



F. 6.研究開発マネジメント・体制等



予算配分

年度 平成	23	24	25	26	合計
(百万円)	1,148	867	735	634	3,383

F. 7. 前回の中間評価(平成23年度)の結果

中間評価コメント

- 事業(プロジェクト)によっては、既に確立されつつある技術の実用化と長期的な観点から技術レベルの向上を図るものがある。両者とも全体としての目標と、それを具体化するための個別要素技術の達成目標を立てて事業化してゆくのが望ましい。
(全事業共通)
- 目標設定が必要によって決定されることが重要であり、達成可能見込みから判断して目標設定が付けられることがないかを注視する必要がある。(全事業共通)

提言に対する対処方針

- 全体目標とそれを達成するための個別要素技術の目標を立てて実施しており、引き続き事業化に向けて取り組んでまいりたい。なお、本事業においては、センサの開発及び安定的な運用を図ることを全体目標としており、また、それぞれの構成機器等においても個別に評価指標を設定している。
- 目標を設定する際には、事業者側からのみならず、利用者の視点も踏まえた目標となるよう努めているところである。なお、本事業においては、別途実施している、石油資源遠隔探知技術の研究開発において利用事業を実施しており、関係者間の情報共有等も図っているところである。

F. 8. 評価

F. 8－1. 評価検討会

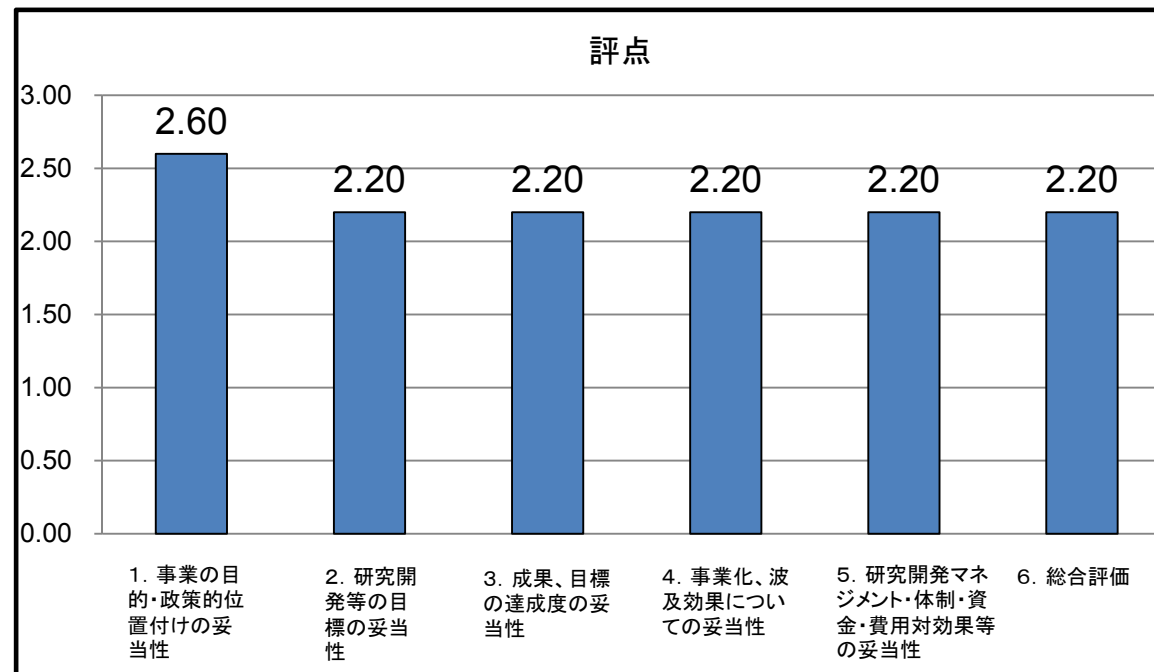
評価検討会名称	宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会	
評価検討会委員	座長	建石 隆太郎 国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター長 教授
	委員	澤谷 邦男 国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部 レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長 中山 裕則 学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授 橋本 英一 元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長 三宅 弘晃 学校法人五島育英会 東京都市大学 工学部機械システム工学科 准教授

F. 8－2. 総合評価(コメント)

- 石油ガス田の開発や鉱区取得につながった例など、ASTER／PALSARデータを石油ガス資源の探査等に利用して成果をあげている点は高く評価できる。
- また、ASTER GDEMの整備、オイルスリックデータベースなど、ASTER／PALSARの長期観測データから様々なプロダクトを作成し利用者に配布しており、関連分野の産業活動及び科学研究に大きく貢献している。
- なお、ASTERは引き続き多くの分野での活用が期待され、今後も運用を継続すべきであるが、その運営についてはより省力化、効率的運営を検討すべきである。
- 米国のLANDSATでは2008年よりデータの無償配布が開始されるなど、海外衛星においてはデータの配布ポリシーが近年変更になっている。ASTER等で取得したデータについても、より広い分野での活用が期待され、今後はその配布を無償化するなど、ユーザーの拡大に向けた見直しを行う必要がある。
- また、現在開発中のハイパースペクトルセンサの観測データの処理についての研究開発は、本事業の経験を十分に踏まえて推進するべきである。

F. 8－3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト中間評価において、評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

F. 9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- これまで日本の宇宙関連産業が蓄積してきた人工衛星/センサの開発、運用、解析の技術を継承しながら発展させるという点から、人工衛星の高分解能化や高頻度観測、その高精度かつ高速な運用・処理・解析に資する技術の開発についての検討が必要と考えられる。また、輸出が期待される国々のニーズに即した技術の開発についても検討することが重要と考えられる。

具体的には、例えば、

- 複数衛星/センサによる高頻度観測が可能となるような小型化かつ低コストの高機能衛星/センサ技術の開発（本格的な「小型高機能衛星」の実現）
- 資源探査に有効な高空間分解能・高スペクトルの光学センサの発展的な開発
- 小規模機関や民間などでも十分に利用可能な簡易衛星データ受信・処理・解析の一貫システムの開発
- 多様な地域に対応できる衛星データの高精度解析手法の開発

などが想定される。（A～H事業共通）

- 欧米による衛星観測データの無料公開の動向も踏まえ、ASTERデータが広く利用されて社会に還元されるよう、利用研究の分野を拡大するとともに、ASTERデータを無料公開する方針に転換することを提案する。

提言に対する対処方針

- 今後のリモートセンシング衛星に関わる研究開発に当たっては、これまでに培われた技術を承継・活用し、また、その技術を発展させるものとなるよう、検討を行いながら、取り組んでまいりたい。

輸出が期待される国々・ユーザーのニーズに即した研究開発についても、検討してまいりたい。

- ご指摘の通り、ASTER・PALSARデータの利用を促し社会に還元するとともに、利用研究の分野拡大を図るため、ASTERデータの取扱いについて見直しを行ってまいりたい。

G ハイパースペクトルセンサ等の 研究開発 (中間評価)

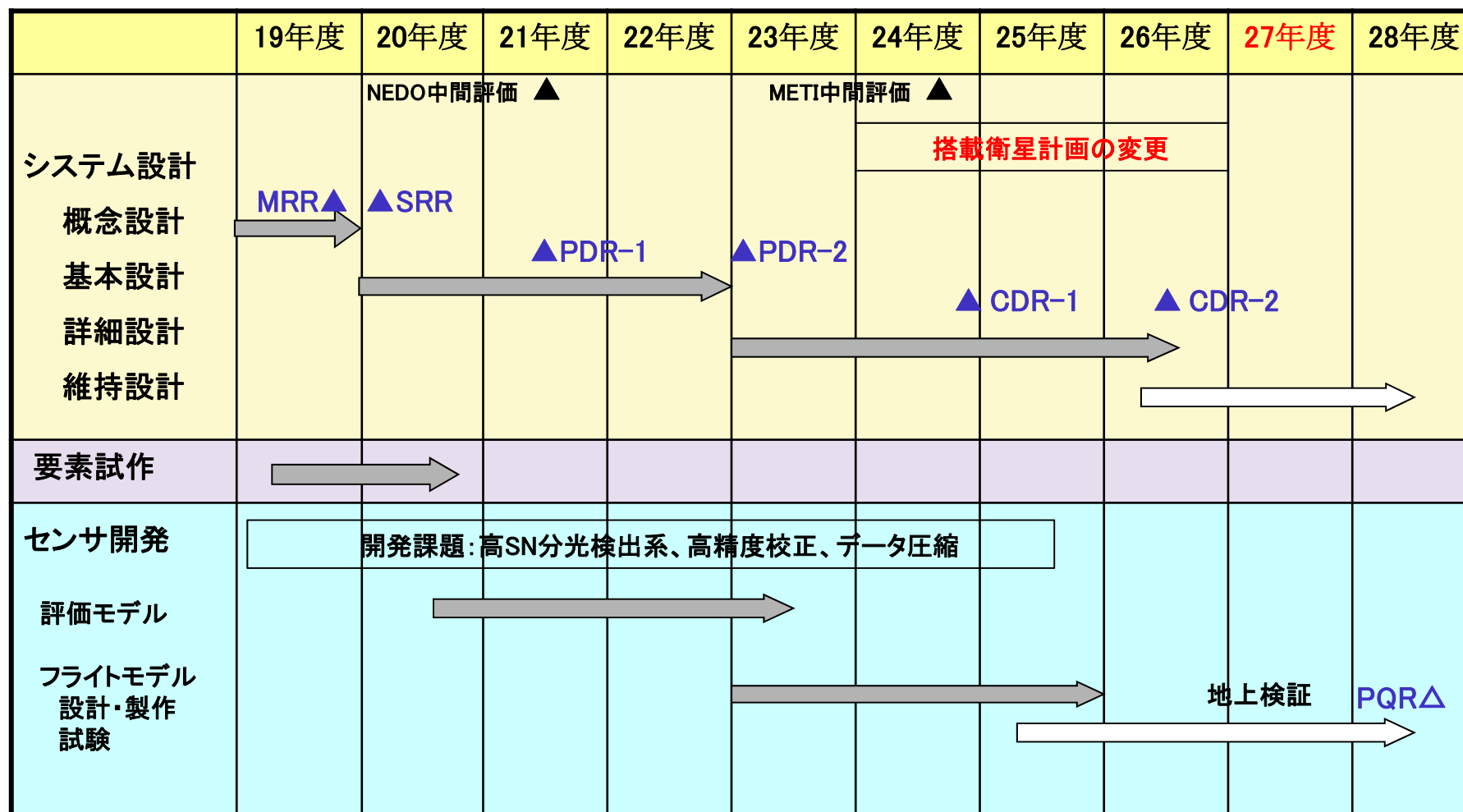
製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構
日本電気株式会社

2. G. 1.ハイパースペクトルセンサ等の研究開発の概要

概 要	平成28年度までに資源探査・農林水産・環境観測・災害監視など、多様な用途への活用を可能とする広い観測幅に高い波長分解能を有する高性能な衛星搭載型ハイパースペクトルセンサ及びマルチスペクトルセンサの技術の開発を行う。
実施期間	平成19年度～平成33年度（15年間）
予算総額	120.1億円（委託） （平成23年度：21.7億円 平成24年度：18.0億円 平成25年度：15.3億円 平成26年度：6.7億円）
実 施 者	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構 日本電気株式会社
プロジェクト リーダー	岩崎 晃 東京大学先端技術研究所教授

2. G. 1.ハイパースペクトルセンサ等の研究開発の概要(1/2)

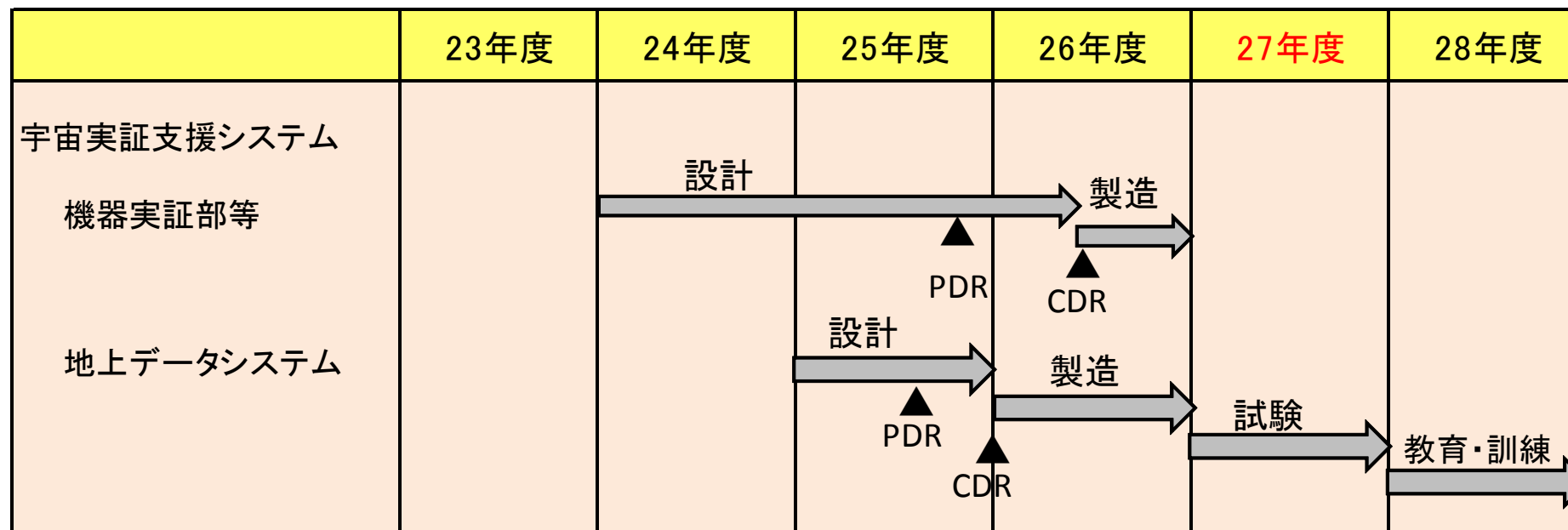
※平成26年度時点



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: 試験後品質確認審査
 SN: 信号対雑音比

2. G. 1.ハイパースペクトルセンサ等の研究開発の概要(2/2)

※平成26年度時点



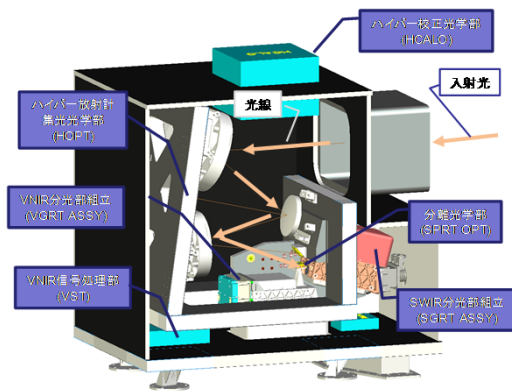
注) PDR: 基本設計審査、CDR: 詳細設計審査

2. G. 2.事業の目的・政策的位置づけ

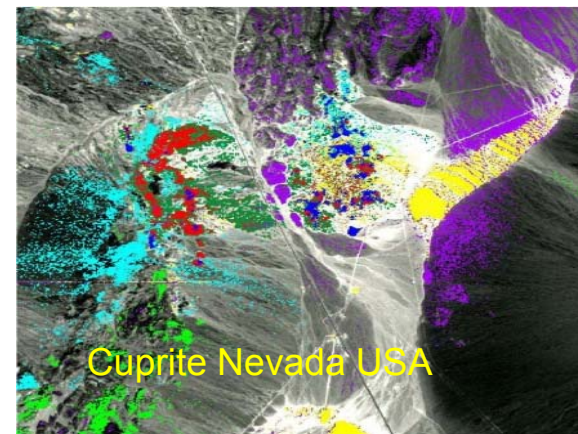
ハイパースペクトルセンサ等の研究開発目的

資源探査・環境観測・災害監視等への応用および農林業等、今後地球観測データユーザのニーズの拡大が期待される分野において、広い観測幅による観測頻度の改善、高い波長分解能による識別能力の向上を可能とする世界トップレベルの高性能な衛星搭載型ハイパースペクトルセンサ及びマルチスペクトルセンサの技術を開発する。

本技術の確立により、資源探査用将来型センサ(ASTER)が担ってきた石油資源等探査の開発を継続、高度化することにより、エネルギー安全保障を含む我が国の総合的な安全保障や国民の安全・安心の実現にも資する。



センサによって
データを取得



AVIRIS
(米国航空機
Hyperセンサ)

<ハイパースペクトルセンサ>

- ①観測波長域: 400-2500nm
- ②バンド数: 185以上
- ③空間分解能: 30m以下
- ④観測幅: 30km

<次世代地球観測衛星利用基盤技術>

- ①エネルギー・資源分野、農林業分野、環境分野での
利用手法確立
- ②センサの校正・データ処理・運用計画最適化等からなる
地上データ処理システムの構築

2. G. 3.目標(1／2)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
システム設計	<u>ハイパースペクトルセンサ</u> 詳細設計結果として以下の仕様を達成する。 空間分解能 30m以下 観測幅 30km バンド数 185以上 S/N比 VNIR 450以上 SWIR 300以上 <u>マルチスペクトルセンサ</u> 詳細設計結果として以下の仕様を達成する。 空間分解能 5m以下 観測幅 90km バンド数 4 S/N比 200以上	<u>ハイパースペクトルセンサ</u> 航空機ハイパー、Hyperion 等のデータを実際に使用しているユーザから高S/Nデータが必須との意見があり、 VNIR(可視近赤外):450以上 SWIR(短波長赤外):300以上の目標を設定した。 この値は世界最高レベルである。 <u>マルチスペクトルセンサ</u> ASTERのユーザの性能向上要求を反映した。 高空間分解能:15m→5m 高頻度観測(広観測幅):60km→90km バンド数:3→4 青バンド追加 ・青バンド追加により沿岸域の観測に有利 ・トゥルーカラーが可能。 S/N比:160→200 ASTER相当以上

2. G. 3.目標(2／2)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
プロトフライトモデル	プロトフライトモデル用コンポーネントの製作及び試験を行う。 プロトフライトモデルの組立てを開始する。	ハイパースペクトルセンサ、マルチスペクトルセンサを構成するコンポーネントについて、熱機械環境を含む性能を試験し、宇宙用としての品質を確認する。
宇宙実証支援システム	ハイパースペクトルセンサ、マルチスペクトルセンサの宇宙実証を行うため、宇宙実証支援システムを打上げ前までに整備する。	宇宙実証支援システムにおいて、宇宙実証に必要な機能を打上げ前までに確認する。

2. G. 4.成果、目標の達成度(1／4)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
システム設計	<u>ハイパースペクトルセンサ</u> 詳細設計結果として以下の仕様を達成する。 空間分解能 30m以下 観測幅 30km バンド数 185以上 S/N比 VNIR 450以上 SWIR 300以上 <u>マルチスペクトルセンサ</u> 詳細設計結果として以下の仕様を達成する。 空間分解能 5m以下 観測幅 90km バンド数 4 S/N比 200以上	詳細設計結果について、コンポーネント詳細設計審査(CDR-1)及びセンサシステム詳細設計審査(CDR-2)を行い、最終目標性能が達成が可能であることを確認した。	達成

2. G. 4.成果、目標の達成度(2／4)

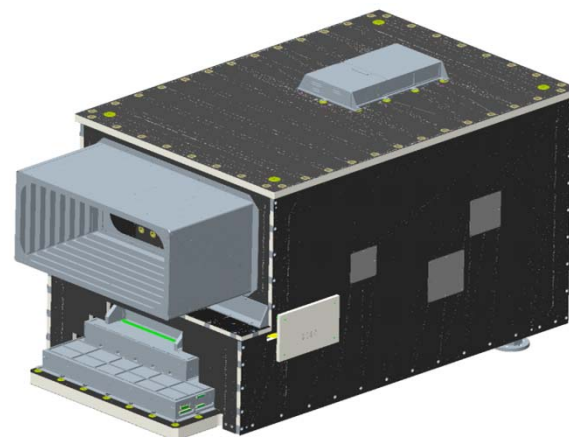
要素技術	目標・指標	成 果	達成度
プロトフライト モデル	プロトフライトモデル用コンポーネントの製作及び試験を行う。 プロトフライトモデルの組立てを開始する。	ハイパースペクトルセンサ、マルチスペクトルセンサを構成するコンポーネントについて、熱機械環境を含む性能を試験し、宇宙用としての品質を確認した。 上記のコンポーネントを用い、ハイパースペクトルセンサ、マルチスペクトルセンサのプロトフライトモデルの組立てを開始した。	達成
宇宙実証 支援システム	ハイパースペクトルセンサ、マルチスペクトルセンサ用機器実証部及び地上データシステムの設計・製造を行う。	ハイパースペクトルセンサ、マルチスペクトルセンサの宇宙実証に必要な機器実証部及び地上データシステムの設計・製造を実施した。	達成

2. G. 4.成果、目標の達成度(3／4)

各センサの外観図

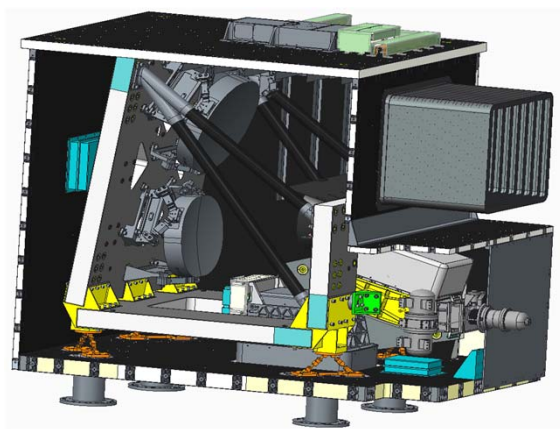


ハイパースペクトルセンサ

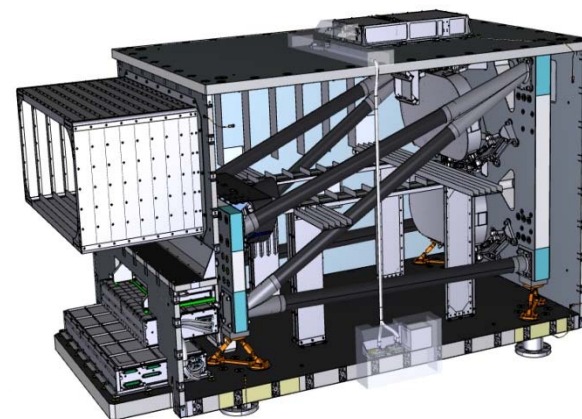


マルチスペクトルセンサ

各センサの内部透視図



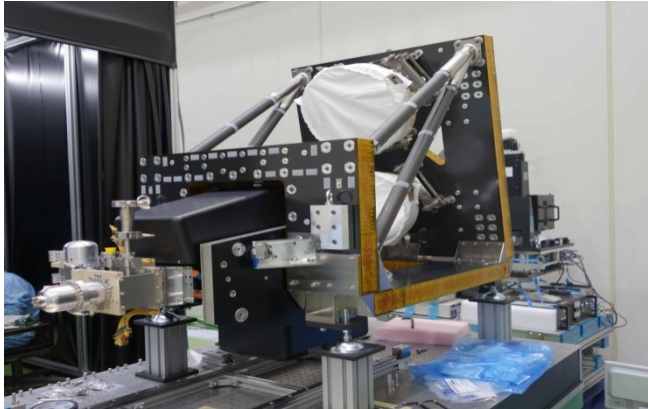
ハイパースペクトルセンサ



マルチスペクトルセンサ

G. 4.成果、目標の達成度(4／4)

各センサの組立作業



ハイパースペクトルセンサ



マルチスペクトルセンサ

G. 4.成果、目標の達成度(5／5)



宇宙実証支援システム(機器実証部)の機器モニタ画面例

G. 5.事業化、波及効果(1／5)

事業化【センサ販売】

➤ 日本におけるプログラムの立ち上げの提案

- 1) ハイパースペクトルセンサの国内販売に関しては、公的なデータの利用の可能性が非常に高いことから官庁の継続的データ利用を訴求し、現開発センサの後継機の立ち上げを提案していく。継続観測を実現するため、2018～9年頃から開発プログラムが立ち上がるよう官等に働きかける。
- 2) 今後、データ利用を広く働きかけることにより、ハイパースペクトルセンサやマルチスペクトルセンサを民間が保有する可能性があると考えている。衛星運用での事業化を民間に働きかけ、一部官民連携も視野に入れた、民間主体の衛星の実現を目指した提案活動を行う。

➤ 海外プログラムへの販売の推進

- 1) 最近、新興国において衛星やセンサ保有を目指した開発の動きがある。また、日本政府の資金や国家間の協力によって、海外プログラム実現の後押しをする動きがある。官民の連携も視野に入れて、海外へのセンサ販売、更には地上含む衛星システム全体の販売の推進を図る。

これらの事業化を推進するため、現在開発中のセンサによる実用化を確実なものとするのが重要である。

G. 5.事業化、波及効果(2/5)

事業化【データ販売】

➤ **事業化構想**

- ・ ハイパースペクトルセンサ(マルチスペクトルセンサも含む)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。
- ・ 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、データ販売及び利用事業の発展を目指す。
- ・ そのため、市場調査やデータ販売、各種データ利用に関する国内外のユーザや連携先等の獲得、付随するデータ利用および連携条件の調整を実施する。
- ・ データ受信や処理に関する官と民の役割分担等明確化が必要な事項があるが、今後関係機関との調整を行ってこれらを明確化し、データ販売事業の発展を目指す。
- ・ そのため、データ利用に関心のある企業との連携を深め、事業化の実現を目指す。



➤ **将来的な事業化の見通し**

- 1) 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。
- 2) 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。
- 3) 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。
- 4) 国際的な事業協力も含めた事業を目指して推進する。

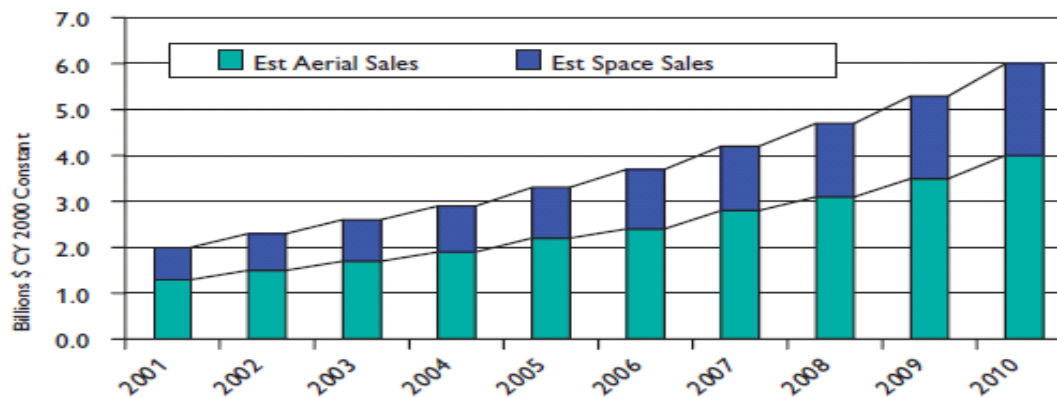
G. 5.事業化、波及効果(3／5)

現状での市場規模

- 1) ASPRS 2004による2012年度での航測・衛星リモートセンシング事業規模は約44億 \$ (過去5年でほぼ倍増)。うち衛星リモセン市場は約15億 \$。
- 2) リモートセンシングにはパナクロマチックセンサ、マルチスペクトルセンサ、レーダ等各種のセンサ等のデータの利用が含まれている。

今後の市場規模の予測

全世界の衛星リモセン市場規模は、2012年以降、過去5年と同様の伸び率とし、センサ運用を5年とするとその間の市場規模は約72億 \$ (約6700億円)となる。



ASPRS :American Society of Photogrammetry and Remote Sensing

G. 5.事業化、波及効果(4／5)

研究体制への波及効果(人材育成、研究開発の継続性)

- 分光センサ・画像データ処理技術者、衛星搭載センサ開発者の育成、維持拡大ができる。
- 分光、素子、分光測定、画像分析技術等の継続開発による技術、ノウハウ蓄積ができる。

技術的波及効果

- 分光、校正技術が蓄積される。
- 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、本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。

経済的波及効果、社会的効果

☆ 資源探査能力の向上

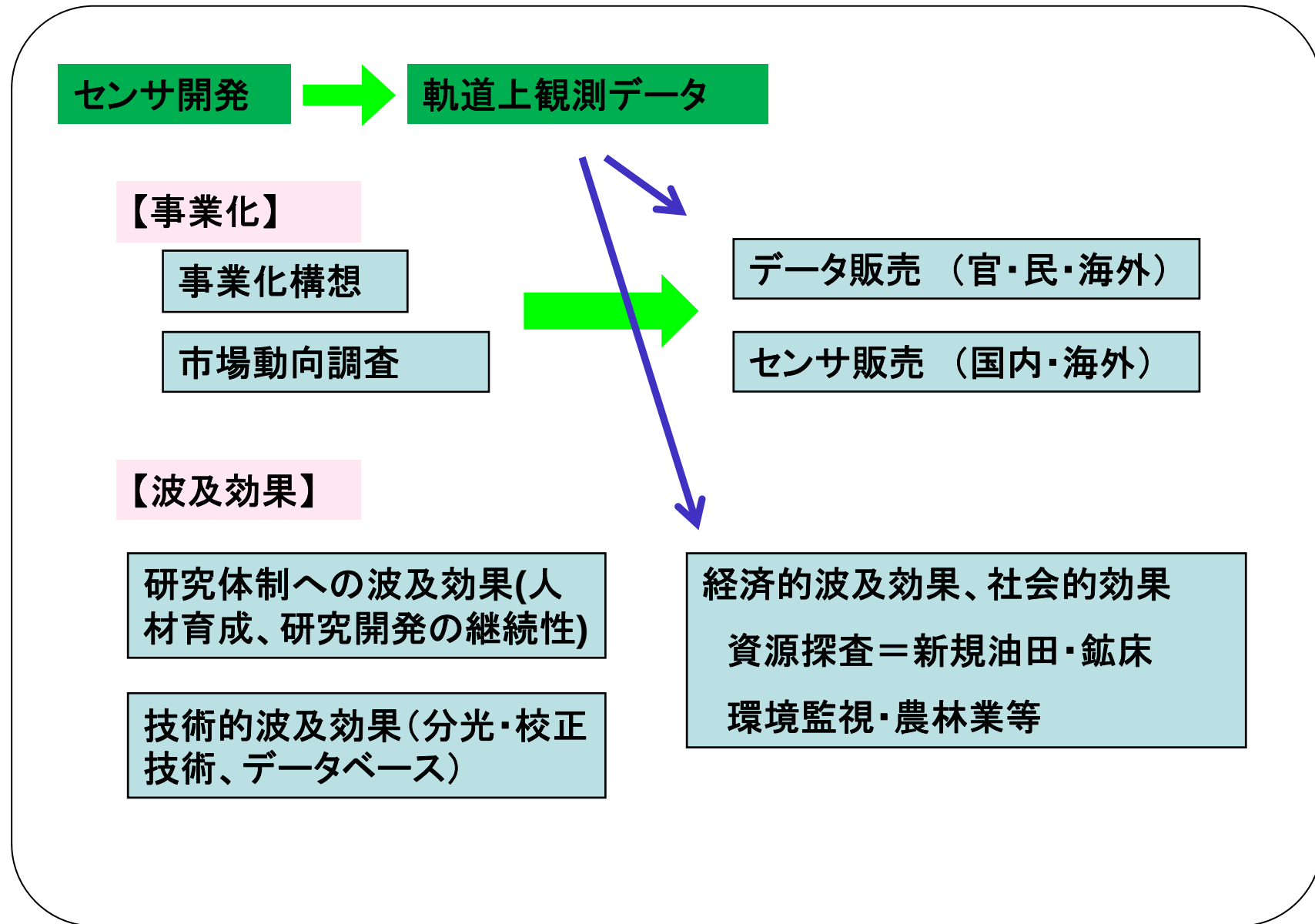
ハイパースペクトルセンサの取得データから得られる地表面情報は多数のスペクトルを有するため、資源の有無、分布などに関し従来のASTERなどのセンサのデータより精度の高い情報を提供でき、新しい油田や鉱床の発見、鉱床探査の効率化が可能となるなど、資源の安定供給の確保、資源国への開発支援に多大な効果が期待できる。

- 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。

☆ その他(環境監視・農林業等)

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。
水質等の汚染状況識別や陸域の土地利用の詳細識別にも能力を発揮できる。

G. 5.事業化、波及効果(5/5)



G. 6. 研究開発マネジメント・体制等(1／2)

変化への対応

搭載衛星計画の変更

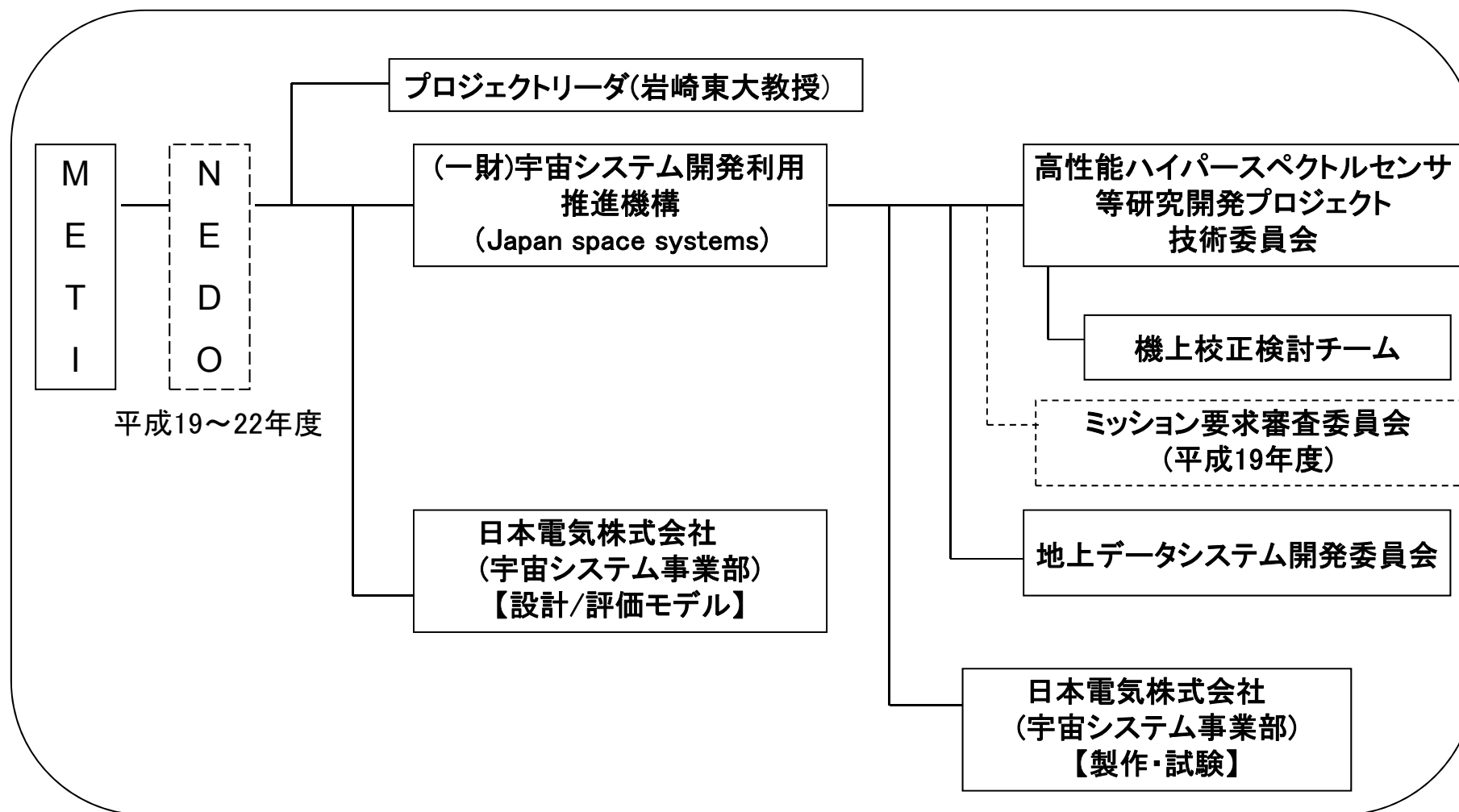
HISUIセンサは、開発の検討着手時から文部科学省が研究開発を計画していた「ALOS－3（だいち3）」に搭載することを想定していた。しかし、平成23年8月の「宇宙開発利用の戦略的推進のための施策の重点化及び効率化の方針」において、以下のような指摘があり、「ALOS－3」の開発計画は中止となった。

だいち3（文部科学省（JAXA）、分解能80cm、観測幅50km）は（中略）緊急性等との観点で他のプロジェクトより優先度が低いため、宇宙政策全体の中で他の優先度の高いプロジェクトを実施した上で宇宙予算上可能であれば実施することとすべきである。

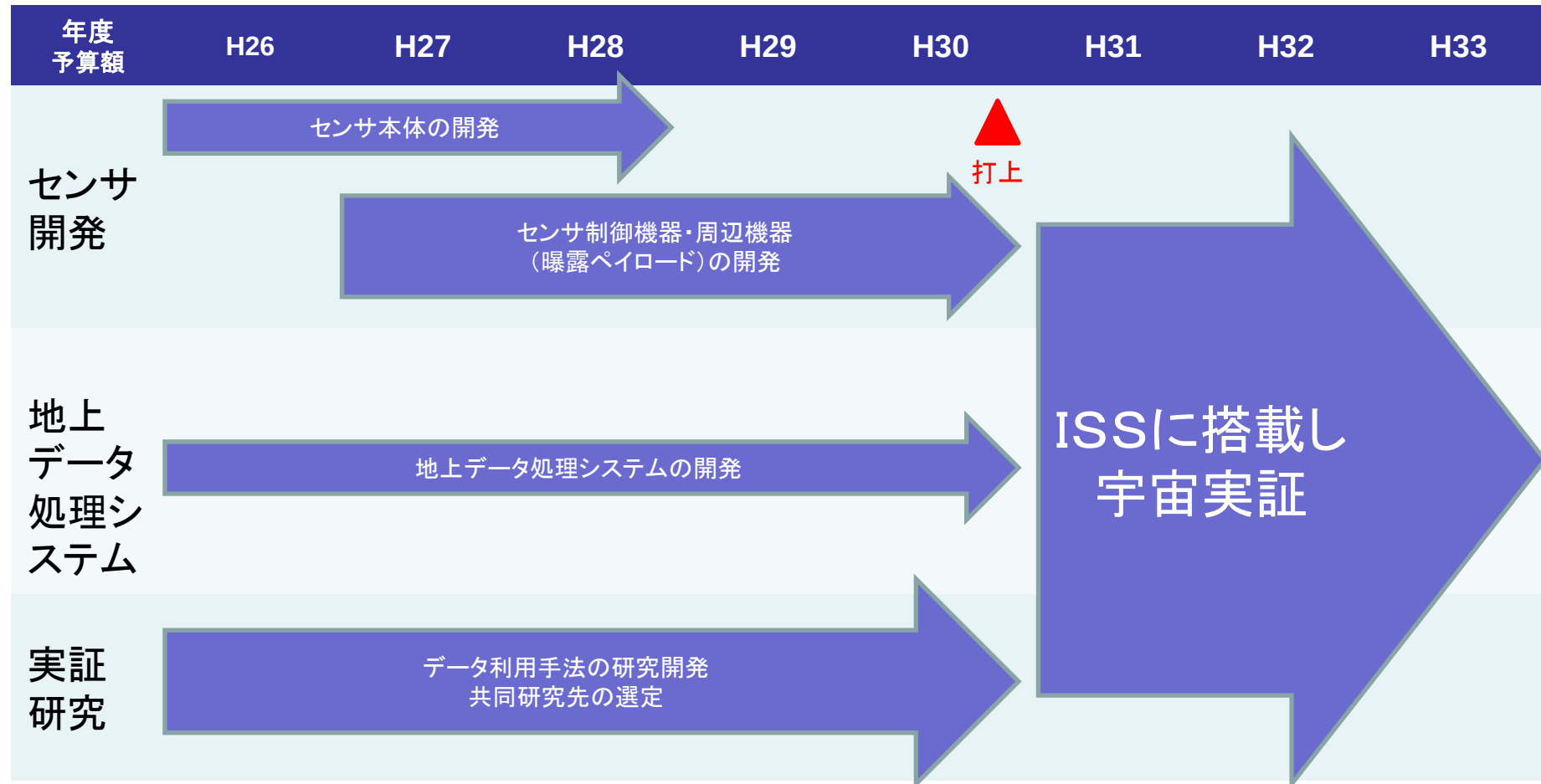
搭載衛星(JAXA)の中止に伴い、新たなセンサの宇宙実証機会の模索とともに、搭載機会拡大のために汎用的なインタフェース化の検討を実施している。

G. 6. 研究開発マネジメント・体制等 (2/2)

開発体制



今後の研究開発スケジュール



※2021年以降もISSきぼう日本実験棟(JEM)の利用が可能であると仮定

今後のハイパースペクトルセンサのロードマップ

- ハイパースペクトルセンサの開発について、日本が世界をリード
- 安全保障・農業管理・森林監視・資源探査に広く活用される

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

軌道上データに基づく、高空間分解能化・小型軽量化

光学高精度アライメント技術の向上

オンボードデータ圧縮補正処理技術の向上

実証データを使った、新規利用ニーズ発掘・ユーザーの拡大

新分野(安全保障分野 等)への適用可能性の評価

データの利用技術の国際共同開発

HISUI-ハイパーセンサ
の宇宙搭載に向けた開発

G. 7. 前回の中間評価(平成23年度)の結果

中間評価コメント

- 事業(プロジェクト)によっては、既に確立されつつある技術の実用化と長期的な観点から技術レベルの向上を図るものがある。両者とも全体としての目標と、それを具体化するための個別要素技術の達成目標を立てて事業化してゆくのが望ましい。
(全事業共通)
- 目標設定が必要性的によって決定されることが重要であり、達成可能見込みから判断して目標設定が付けられることがないかを注視する必要がある。(全事業共通)

提言に対する対処方針

- 全体目標とそれを達成するための個別要素技術の目標を立てて実施しており、引き続き事業化に向けて取り組んでまいりたい。なお、本事業においては、センサの開発及び安定的な運用を図ることを全体目標としており、また、それぞれの構成機器等においても個別に評価指標を設定している。
- 目標を設定する際には、事業者側からのみならず、利用者の視点も踏まえた目標となるよう努めているところである。なお、本事業においては、別途実施している、石油資源遠隔探知技術の研究開発において利用事業を実施しており、関係者間の情報共有等も図っているところである。

G. 8. 評価

G. 8－1. 評価検討会

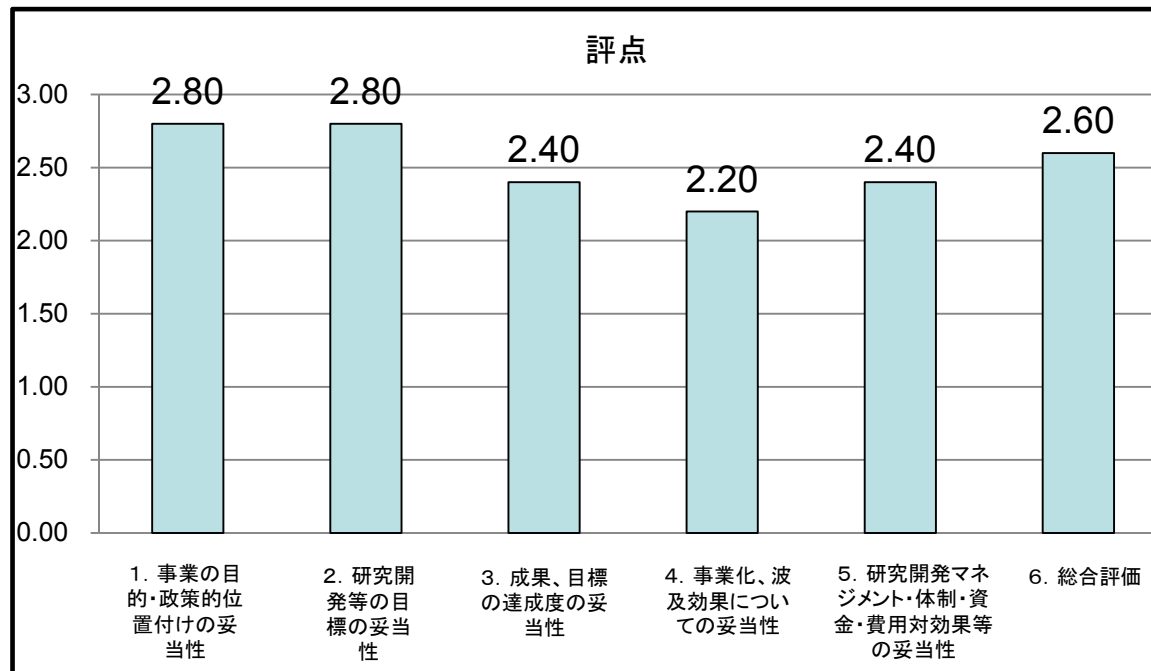
評価検討会名称	宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会	
評価検討会委員	座長	建石 隆太郎 国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター長 教授
	委員	澤谷 邦男 国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部 レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長 中山 裕則 学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授 橋本 英一 元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長 三宅 弘晃 学校法人五島育英会 東京都市大学 工学部機械システム工学科 准教授

G. 8－2. 総合評価(コメント)

- 資源探査や環境観測をはじめとする様々な分野で高スペクトル解像度観測への期待は高く、本事業の目的・政策的位置づけは妥当である。
- これまでの研究開発により、ハイパースペクトルセンサ及びマルチスペクトルセンサの設計が完了し、プロトフライトモデルの組立が開始されており、宇宙実証への実現に向け、着実に進展している。
- 現在予定されている国際宇宙ステーションへの搭載を着実に推進し、早期に宇宙実証を行うことが望まれる。その際、観測データの大容量化が想定されるため、データ処理、分析手法について検討する必要があると考えられる。
- なお、本開発センサの性能について、要求スペックの記述はされているが、性能向上による具体例がもっと分かりやすい形で提示されることが望まれる。

G. 8－3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト中間評価において、評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

G. 9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- これまで日本の宇宙関連産業が蓄積してきた人工衛星/センサの開発、運用、解析の技術を継承しながら発展させるという点から、人工衛星の高分解能化や高頻度観測、その高精度かつ高速な運用・処理・解析に資する技術の開発についての検討が必要と考えられる。また、輸出が期待される国々のニーズに即した技術の開発についても検討することが重要と考えられる。

具体的には、例えば、

- 複数衛星/センサによる高頻度観測が可能となるような小型化かつ低コストの高機能衛星/センサ技術の開発（本格的な「小型高機能衛星」の実現）
- 資源探査に有効な高空間分解能・高スペクトルの光学センサの発展的な開発
- 小規模機関や民間などでも十分に利用可能な簡易衛星データ受信・処理・解析の一貫システムの開発
- 多様な地域に対応できる衛星データの高精度解析手法の開発

などが想定される。（A～H事業共通）

- 資源開発以外の多様な分野でのハイパースペクトルデータの解析技術を確立させるためには、サンプルデータ提供による多数公募型の共同研究方式により、日本の技術を広く結集させることが効果的である。

提言に対する対処方針

- 今後のリモートセンシング衛星に関わる研究開発に当たっては、これまでに培われた技術を承継・活用し、また、その技術を発展させるものとなるよう、検討を行いながら、取り組んでまいりたい

輸出が期待される国々・ユーザーのニーズに即した研究開発についても、検討してまいりたい。

- ご指摘の点については、「I. 次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発」で実施しているハイパースペクトルセンサ・データの利用技術開発において、より多くの研究テーマに取り組める方式を検討してまいりたい。なお、平成28年度においては、公募型の共同研究を行うべく、関係者と検討を進めている。

H 次世代地球観測衛星利用基盤技術の 研究開発 (中間評価)

製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
国立研究開発法人産業技術総合研究所
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

H. 1.次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発の概要

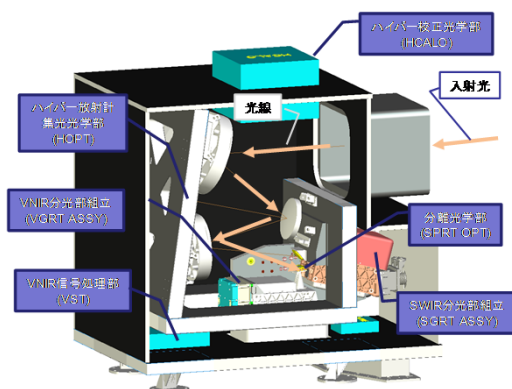
概 要	HISUIは、既に設計寿命を超えて運用中であるASTERの後継センサであり、ハイパースペクトルセンサとマルチスペクトルセンサから構成される。特に高精度なハイパースペクトルデータにより石油有望地域の抽出や金属資源鉱物等のより詳細な特定を可能とするなど様々な分野での解析技術確立する。また、高品質なデータの継続提供を可能とするため、センサの校正・データ処理・運用計画の最適化等からなる地上データ処理システムを構築する。
実施期間	平成18年度～平成33年度（16年間）
予算総額	34.8億円(委託事業) (平成23年度:5.7億円 平成24年度:5.3億円 平成25年度:4.5億円 平成26年度:4.1億円)
実 施 者	(一財)宇宙システム開発利用推進機構 (国研)産業技術総合研究所 (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
プロジェクト リーダー	六川 修一 東京大学大学院工学系研究科技術経営戦略学専攻 教授

H. 2.事業の目的・政策的位置づけ

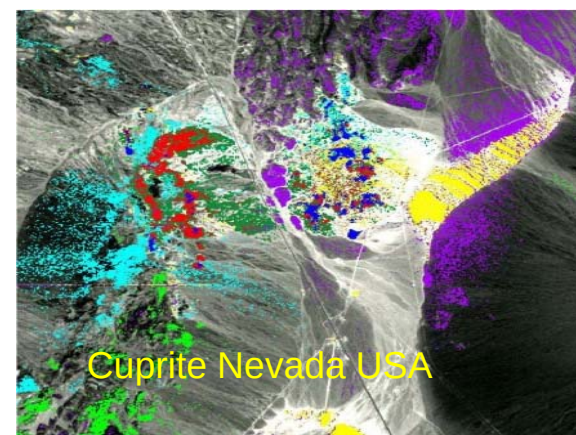
ハイパースペクトルセンサの利用技術の研究開発目的

高い波長分解能による識別能力の向上を可能とするハイパースペクトルセンサについて、資源探査・環境観測・災害監視等への応用および農林業等、今後地球観測データユーザのニーズの拡大が期待される分野における利用技術の研究開発を行う。

本技術の確立により、資源探査用将来型センサ(ASTER)が担ってきた石油資源等探査技術の高度化を初めとした地球観測データ利用の拡大を図ることにより、国民の安全・安心の実現にも資する。



センサによって
データを取得



AVIRIS
(米国航空機
Hyperセンサ)

＜ハイパースペクトルセンサ＞

- ①観測波長域:400-2500nm ②バンド数:185以上
③空間分解能:30m以下 ④観測幅:30km

＜次世代地球觀測衛星利用基盤技術＞

- ①エネルギー・資源分野、農林業分野、環境分野での
利用手法確立
②センサの校正・データ処理・運用計画最適化等からなる
地上データ処理システムの構築

H. 3.目標(1／5)

HISUIデータを用いて、エネルギー・資源分野や農業・環境・防災等の分野において実利用化のための解析技術を確立することと、高品質・高精度でかつユーザの実用に資するプロダクトを継続的に生産・提供可能とするために必要なセンサ校正・データ処理・運用計画最適化等、地上システムに必要な技術を開発する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
実利用化のための解析技術に共通する基盤技術	HISUIシミュレータを開発すること、およびスペクトルデータベースに格納する細かな波長分解能の鉱物スペクトルライブラリを作成する。	個別分野の開発手法をHISUI運用開始前に実証するために、HISUIシミュレーションデータを作成するシミュレータの開発が必要である。また、運用後のHISUIハイパースペクトルデータから物質を特定するためには、鉱物等のスペクトルライブラリを整備しておく必要がある。

H. 3.目標(2／5)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
個別分野における 利用技術	エネルギー資源分野では、 海域でのオイルスリック判 定や植生地域でも利用可 能な探鉱手法の開発のほ か、農業、環境、防災等の 分野も含め手法を5事例以 上開発する。	エネルギー・資源、農業、環境や防災 分野のユーザによる具体的な実利用 のニーズに応える手法開発が必要で ある。 具体的には、資源分野のニーズとして、 既存の陸域露岩地域の探鉱から、植 生地域での探鉱やオイルスリック抽出 への利用可能範囲の拡大、農業分野 のニーズとして、国内農作物から海外 農作物(小麦等)のモニタリングなど対 象域の拡大、環境分野のニーズとして、 農地塩害化の早期対応のための低塩 分濃度土壌分布の把握や熱帯泥炭湿 地林での温室効果ガスの排出量や炭 素蓄積量の把握、防災分野のニーズと して、植生を含んだ土砂災害の脆弱性 の評価。

H. 3.目標(3／5)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
校正・データ処理技術	HISUIの仕様に対し既存校正技術の適用評価、必要に応じた改良技術を開発し、校正検証計画および校正システムの開発に着手する。 また、幾何補正・波長補正・放射量補正、さらに、大気補正に必要な画像補正処理手法を開発し、アルゴリズム基準書の作成に着手する。	HISUIの各種プロダクトの品質を保証・高精度化させるためには、センサの校正技術を確立する必要があり、そのため、HISUI打上前および打上後校正の信頼性向上のための校正技術を開発する必要がある。 また、HISUIのデータが有効に活用されるためには、放射量・幾何的歪みの除去や大気の影響の除去を行い、ユーザにとって扱いやすいデータ(プロダクト)に処理することが必要である。

H. 3.目標(4／5)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
地上システム(運用計画システムを含む)	地上システム(全体システム)の概念設計を行う。 長期運用計画シミュレーションツールを開発する。 短期観測計画の作成アルゴリズムを開発する。	最適化された観測計画に基づき取得されたデータを処理し、高品質なプロダクトとしてタイムリーにユーザへ提供するため、地上システム(全体システム)に求められる機能の検討・整理を行う必要がある。 また、HISUIはデータ量が膨大であるため、運用はデータダウンリンク量に制約される。一方、ハイパースペクトルセンサの観測幅は30kmであるため、その戦略的価値を最大限に生かすためには限られたリソースの中で、効率的にセンサを運用する必要がある。

H. 3.目標(5／5)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
金属資源探査技術の研究開発 1)次世代衛星データ解析技術開発 2)金属鉱床タイプに応じた総合解析探査技術の開発	1)次世代衛星データ解析技術開発 鉱床に伴う岩石・鉱物の反射スペクトルデータを集積し、鉱物分類を高精度化するための解析技術を開発すること。 2)金属鉱床タイプに応じた総合解析探査技術の開発 鉱床タイプに応じた衛星データ等による解析技術を開発すること。また、ハイパースペクトルデータ解析評価用システムを開発すること。	1)ハイパースペクトルセンサにより得られるデータから、資源探査に有用な情報を効果的・効率的に抽出するためのハイパースペクトルデータ解析技術の開発を行い、金属資源探査分野における我が国の競争力確保を図る。 2)金属鉱床では、ベースメタルやレアメタルを産する鉱床タイプごとに固有の岩石・鉱物の産状を示すため、鉱床タイプに応じた解析技術を明らかにすることが必要である。また、ハイパースペクトルデータの高度利用のため、データ解析をサポートする解析評価用システムが必要となる。

H. 4.成果、目標の達成度(1／5)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
実利用化のための解析技術に共通する基盤技術	HISUIシミュレータを開発すること、およびスペクトルデータベースに格納する細かな波長分解能の鉱物スペクトルライブラリを作成する。	航空機ハイパースペクトルデータからHISUIシミュレーションデータを作成するためのHISUIシミュレータを開発し、各分野の研究開発で事前実証に使用した。また、ハイパースペクトルデータのライブラリとして整備すべき125鉱物、168標本のスペクトルを整備した。	達成

H. 4.成果、目標の達成度(2／5)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
個別分野における 利用技術	エネルギー・資源分野 では、海域でのオイル スリック判定や植生地 域でも利用可能な探鉱 手法の開発のほか、農 業、環境、防災等の分 野も含め手法を5事例 以上開発する。	エネルギー・資源分野では、オ イルスリックの解析手法、熱水 性鉱床の鉱物同定手法、植生 地域でも有効な酸化鉄型銅金 鉱床の抽出、農業、環境、防災 分野で、ユーザが利活用できる 具体的な解析手法の研究開発 ／打上前の事前実証を行い、事 例数として9事例を実施した。	達成

H. 4.成果、目標の達成度(3／5)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
校正・データ処理技術	HISUIの仕様に対し既存校正技術の適用評価、必要に応じた改良技術を開発し、校正検証計画および校正システムの開発に着手する また、幾何補正・波長補正・放射量補正、さらに、大気補正に必要な画像補正処理手法を開発し、アルゴリズム基準書の作成に着手する。	打上前校正・代替校正・相互校正および月校正のそれぞれの既存技術評価を行い、改良技術の開発を行った。また、校正アーカイブシステムの開発および校正パラメータテーブル管理手順の策定に着手した。 幾何・放射量補正を行うためのアルゴリズム開発およびその基準書、ソフトウェア開発および試験を行った。大気補正については、太陽高度・大気状態の変動に強い反射率推定法開発、雲検知アルゴリズムの開発等を行った。	達成

H. 4.成果、目標の達成度(4／5)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
地上システム（運用計画システムを含む）	地上システム（全体システム）の概念設計を行う。 長期運用計画シミュレーションツールを開発する。 短期観測計画の作成アルゴリズムを開発する。	地上システム（全体システム）の概念設計を行った。 長期運用計画を最適化に必要な計画策定システムを構築し、様々な条件のもとで長期観測シミュレーションを実施した。 短期観測計画作成アルゴリズムを開発した。	達成

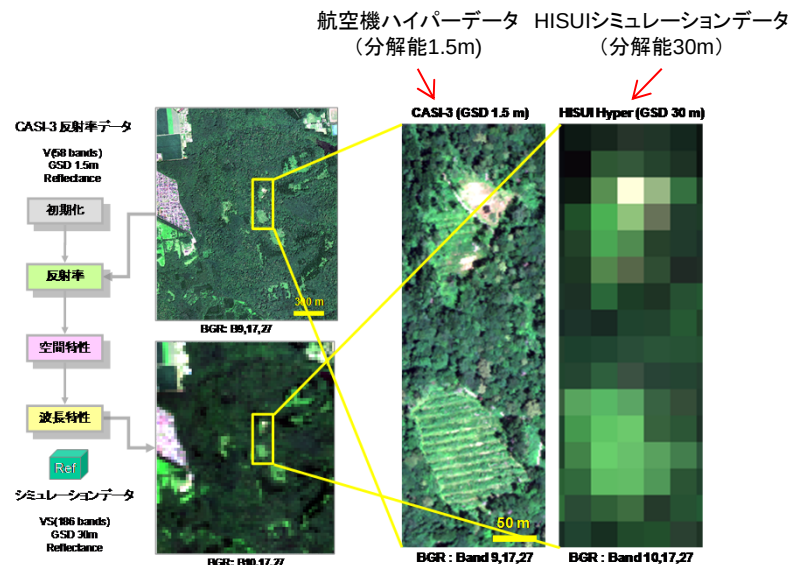
H. 4.成果、目標の達成度(5／5)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
金属資源探査技術の研究開発 1)次世代衛星データ解析技術開発 2)金属鉱床タイプに応じた総合解析探査技術の開発	1)次世代衛星データ解析技術開発 鉱床に伴う岩石・鉱物の反射スペクトルデータを集積し、鉱物分類を高精度化するための解析技術を開発すること。 2)金属鉱床タイプに応じた総合解析探査技術の開発 鉱床タイプに応じた衛星データ等による解析技術を開発すること。また、ハイパースペクトルデータ解析評価用システムを開発すること。	1)鉱床に伴う岩石・鉱物の反射スペクトルデータを測定し、解析に利用可能なデータベースとして取りまとめた(512試料1,038スペクトル)。ハイパースペクトルデータ・スペクトルメータデータ等を用いて詳細な鉱物識別を行うとともに鉱物の化学組成、風化プロセスなどに対する解析技術を開発した。 2)鉱床探査対象となる主要な15鉱床タイプに関する解析技術を開発し、その成果を解析手順書等として取りまとめた。また、解析評価用システムとして携帯型スペクトルメータ及びSQUID磁場偏差計の実機を開発した。	達成 達成

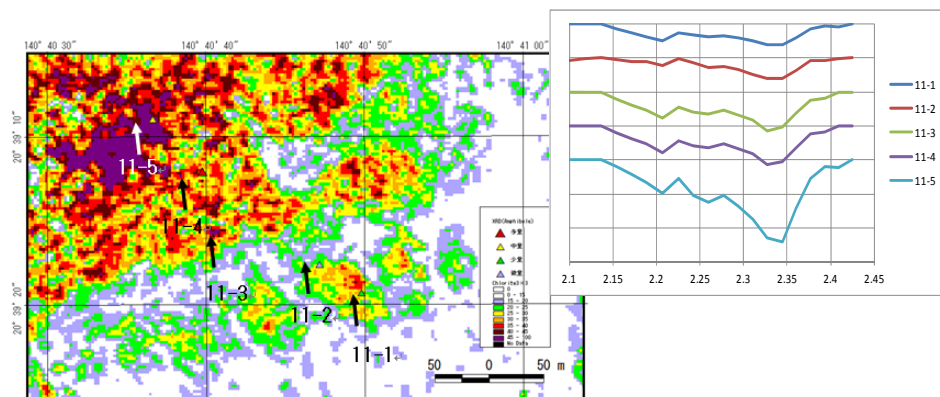
実利用化のための解析技術の成果例

(参考)

1) HISUIシミュレータの開発

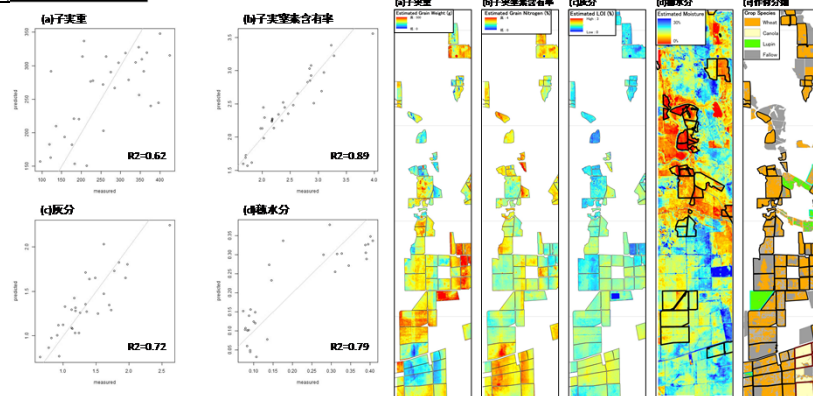


2) エネルギー・資源分野



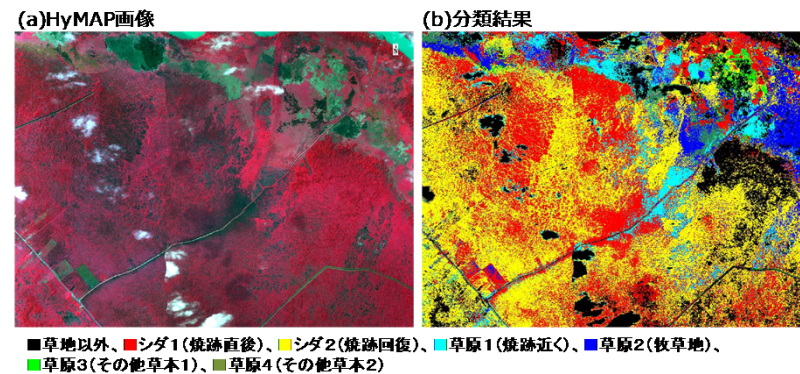
緑泥石推定分布図(左)と現地測定スペクトル(右)

3) 農業分野



小麦の生育状況推定(子実重、子実窒素含有率、穂水分、作付け分類)
(左) 推定値と測定値の比較 (右) 広域分布推定図

4) 環境分野

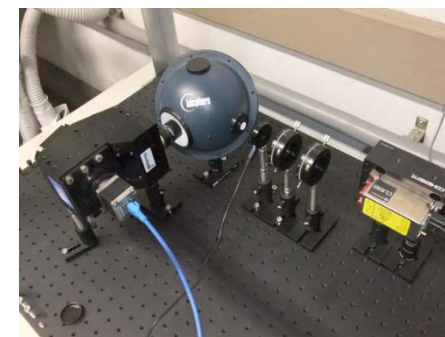
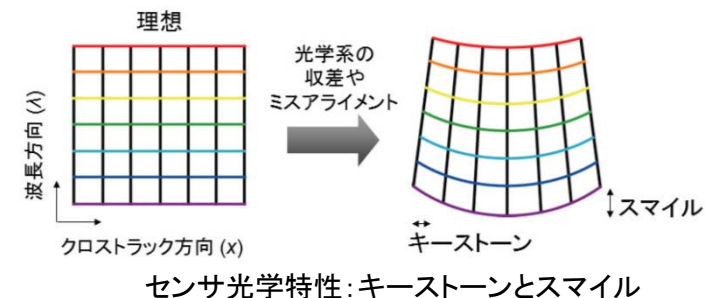
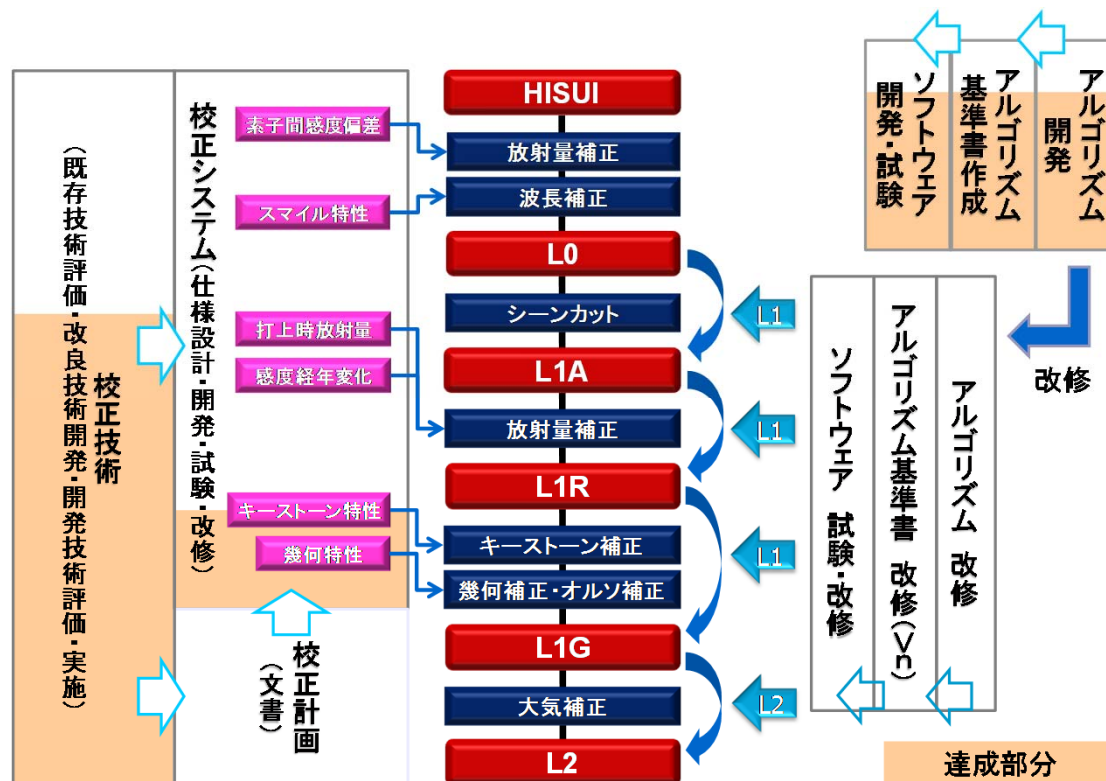


火災跡地の植生タイプ分類結果
(左) 航空機ハイパー画像 (右) 分類図

校正・データ処理技術の成果例

(参考)

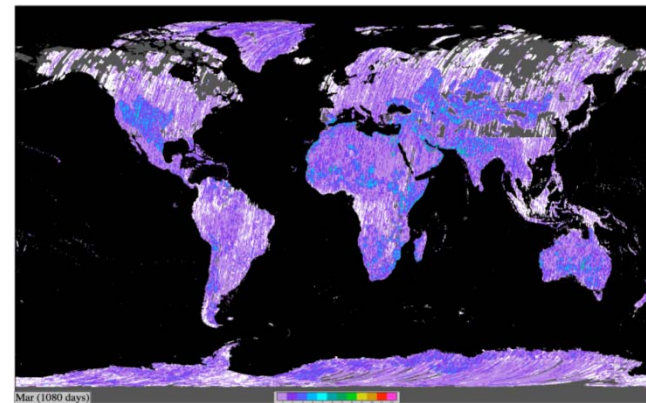
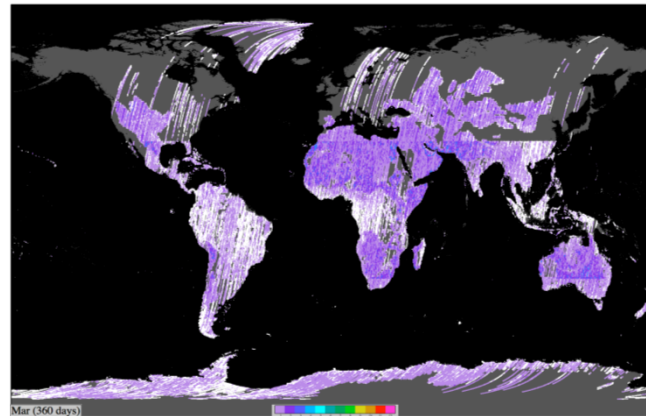
校正・データ処理の関係



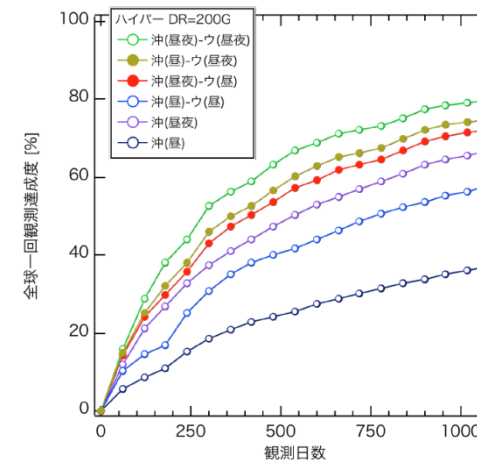
センサ校正・データ処理技術の成果例

(参考)

2) 地上システム(運用計画システムを含む)



仮想観測対象地域による長期観測シミュレーション結果
(上:1年目 下:3年目)



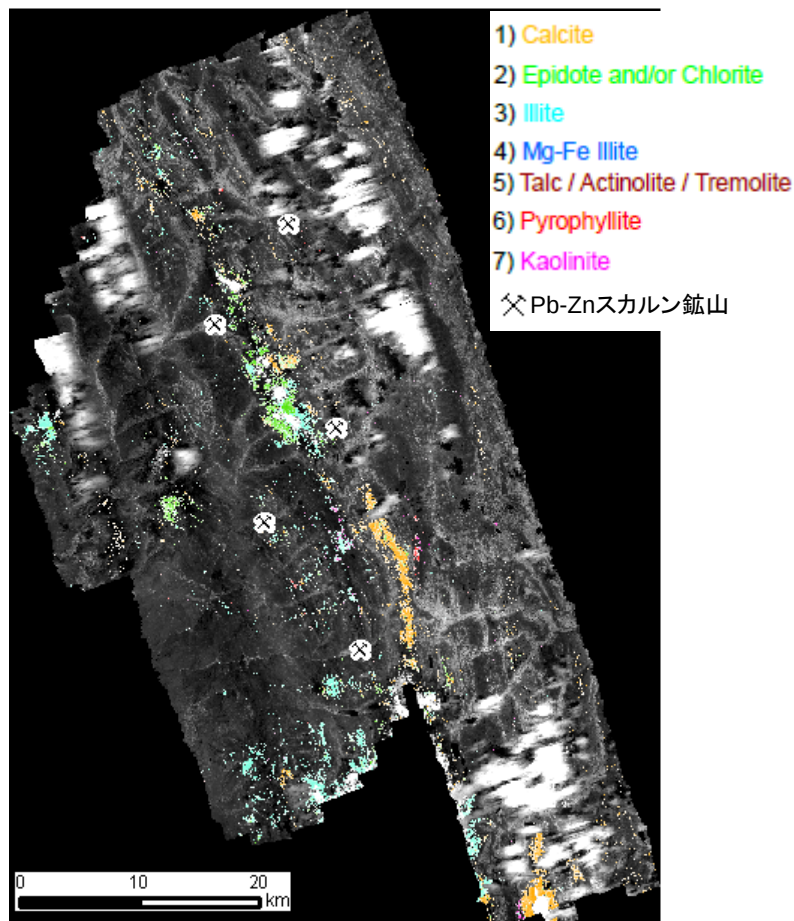
ダウンリンク基地局による
全陸域一回観測の達成度

金属資源探査技術の研究開発の成果例 (参考)

1) 次世代衛星データ解析技術開発(変質帯・鉱物分類の高精度化)

→HISUIの波長特性を利用して、鉱床周辺の詳細な鉱物識別(イライトの化学組成変化等)を実施

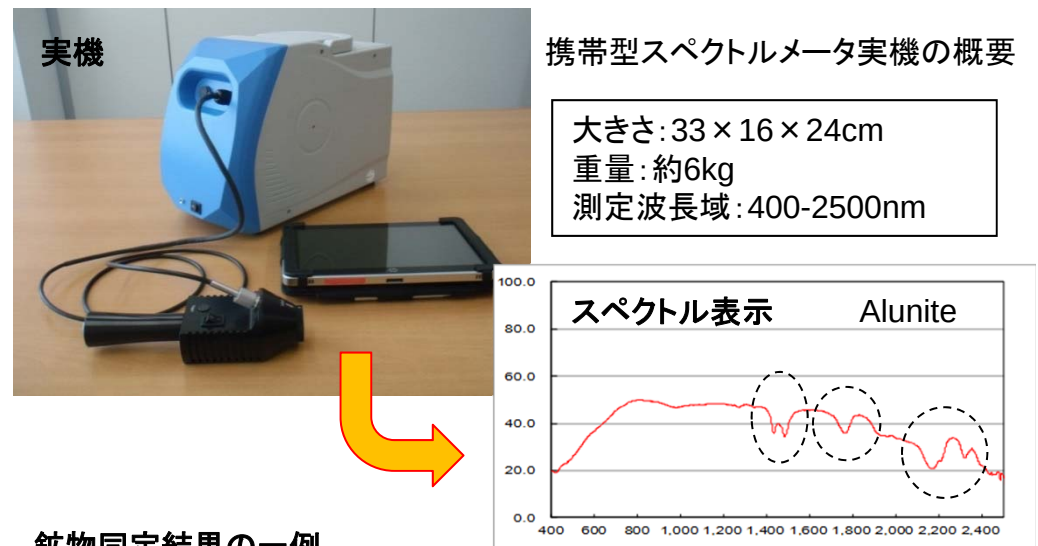
航空機ハイパースペクトルデータ解析結果
(南米)



2) 金属鉱床タイプに応じた総合解析探査技術の開発

→野外調査で鉱物の測定から同定まで可能な地上評価用システムを開発

ハイパースペクトルデータ解析評価用システム開発



鉱物同定結果の一例

同定

Run Run+Save Save

得点

Name	GAP	Correl...	Correl...	Correl...	Correl...	Add S...	Total	CF
Alunite	349	0.741	0.884	0.992	0.983	0	343	B
Sericite	-700	-0.100	0.141	-0.084	-0.006	0	-4	D
Gibbsite	-720	0.979	-0.207	0.044	0.089	0	-63	D
Montmorillonite	-300	-0.302	0.479	0.316	0.406	0	-121	D

アルゴリズム: ☒ POSAM ☐ SAM ☐ SFF

PreProcessing: ☒ Pre Check ☒ AutoFit ☒ Smoothing ☒ Normalize ☒ HULL ☐ Threshold Check

同定対象: ☐ 結合データ ☒ Loadデータ

表示項目: ☐ POSAM GAP

ランク (A~D)

H. 5.事業化、波及効果(1／3)

【事業化の見通し】

(1)観測データや付加価値情報の販売事業

エネルギー・資源分野では、これまで以上に多くの鉱物識別が可能となることで、既存の事業にハイパースペクトルデータを利用したい意向がある。例えば、概査の段階では一地域で数百km四方の広範囲の対象地域での利用を想定しており、ASTERと同等以上のデータ配付数(年間平均18,000シーン)が期待される。また、付加価値情報の販売事業について日本やオーストラリアで行ったヒアリング結果では、多頻度観測可能な衛星データをベースにハイパースペクトルデータで小麦生育状況に関する付加情報を加えることで、政府機関向けの広域モニタリングサービスや特定ユーザ向けのモニタリングサービス事業が期待される。

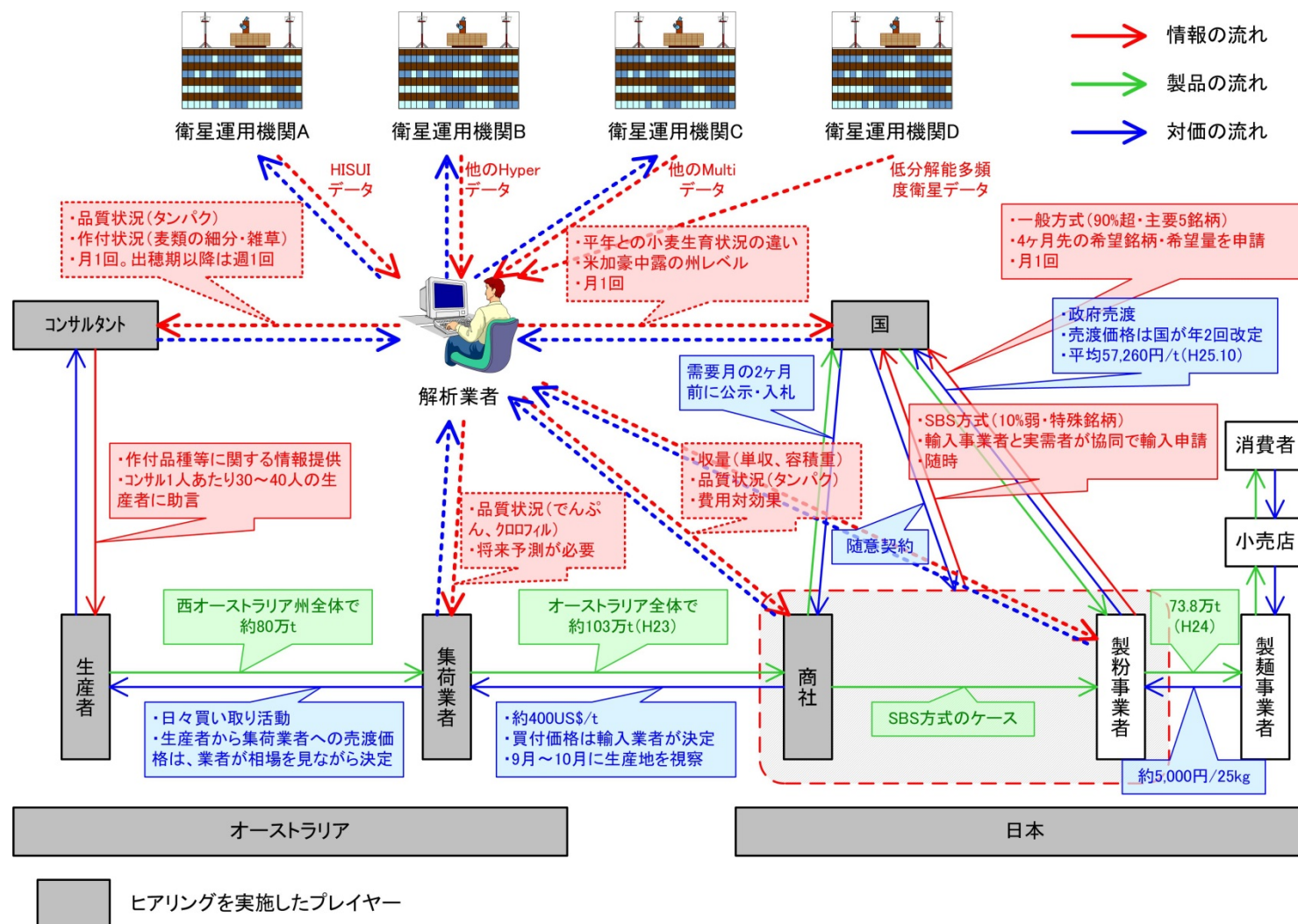
【波及効果】

エネルギー・資源分野においては、鉱物識別が精度良くできることで、対象地域に油田かガス田かあるいはどちらも期待できないかという推定が可能となり、石油探鉱の成功確率が高めることが期待できる。すなわち、開発投資を集中させ経費の効率化が図れるという波及効果は大きい。

また、小麦での付加価値情報提供事業のように、営農管理・森林管理・環境管理の効率化が期待できるなど波及効果は大きい。

H. 5.事業化、波及効果(2／3)

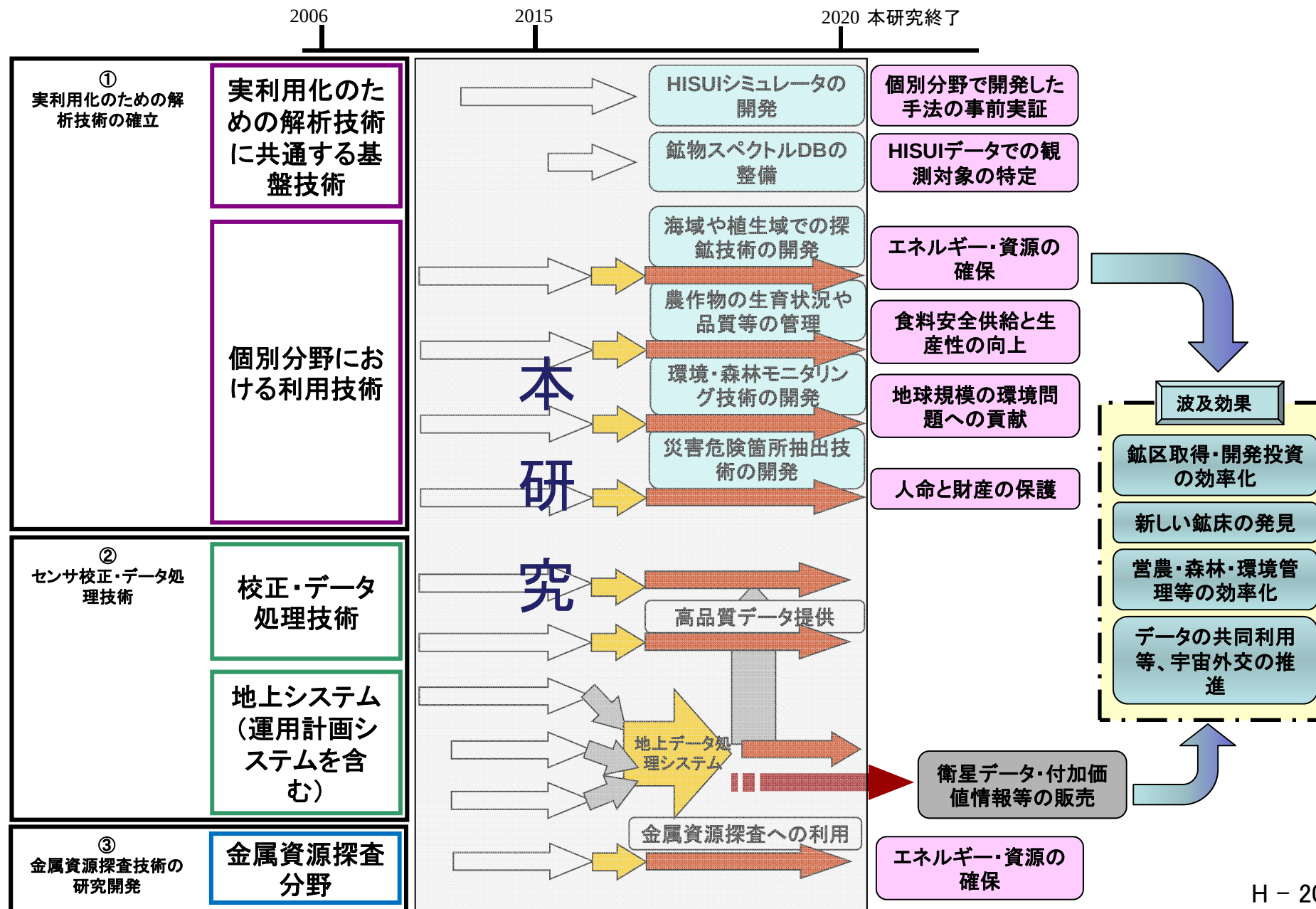
(参考)



オーストラリア小麦に関する情報提供事業化の構想

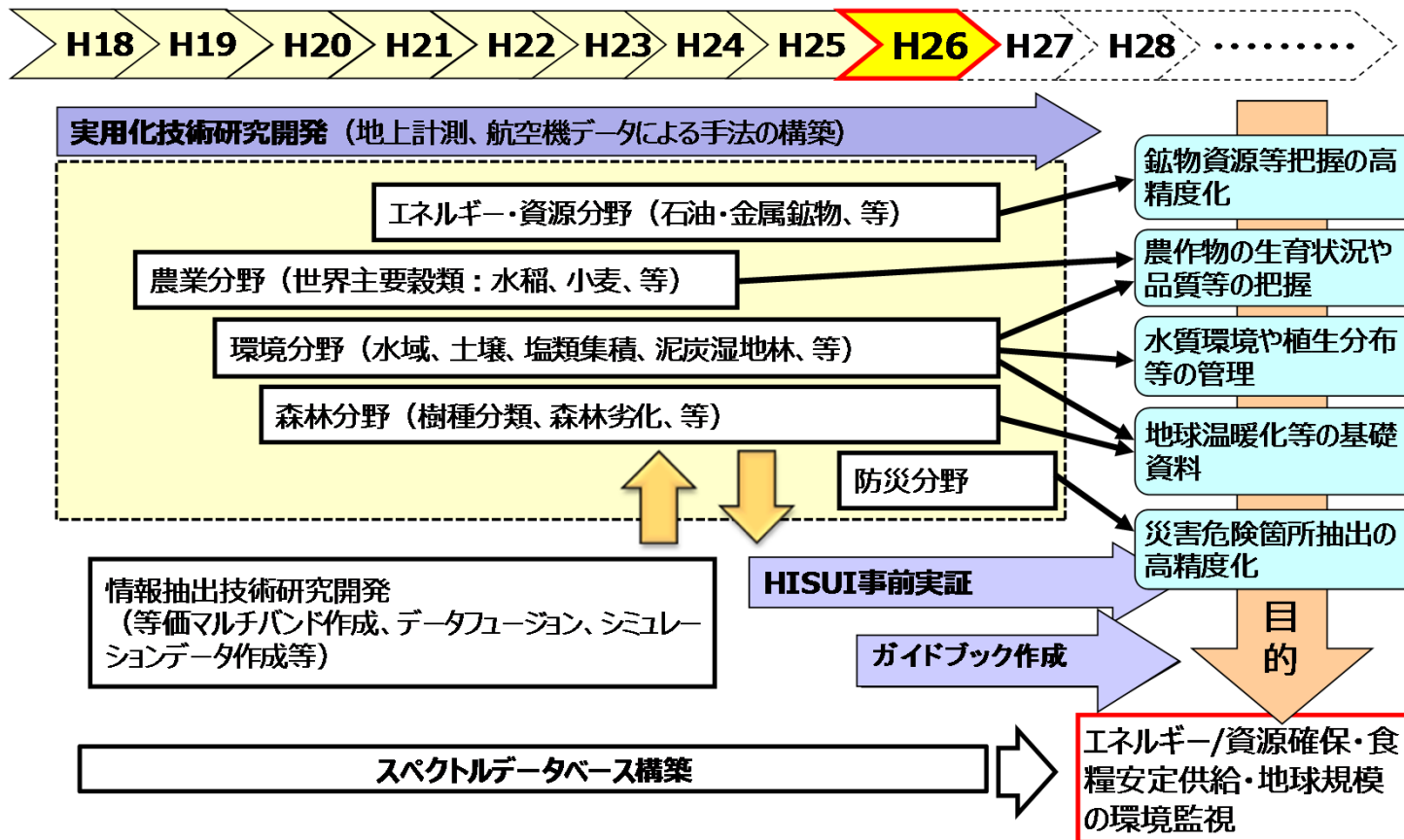
H. 5.事業化、波及効果(3／3)

(参考)



H. 6.研究開発マネジメント・体制等(1／5)

研究開発計画



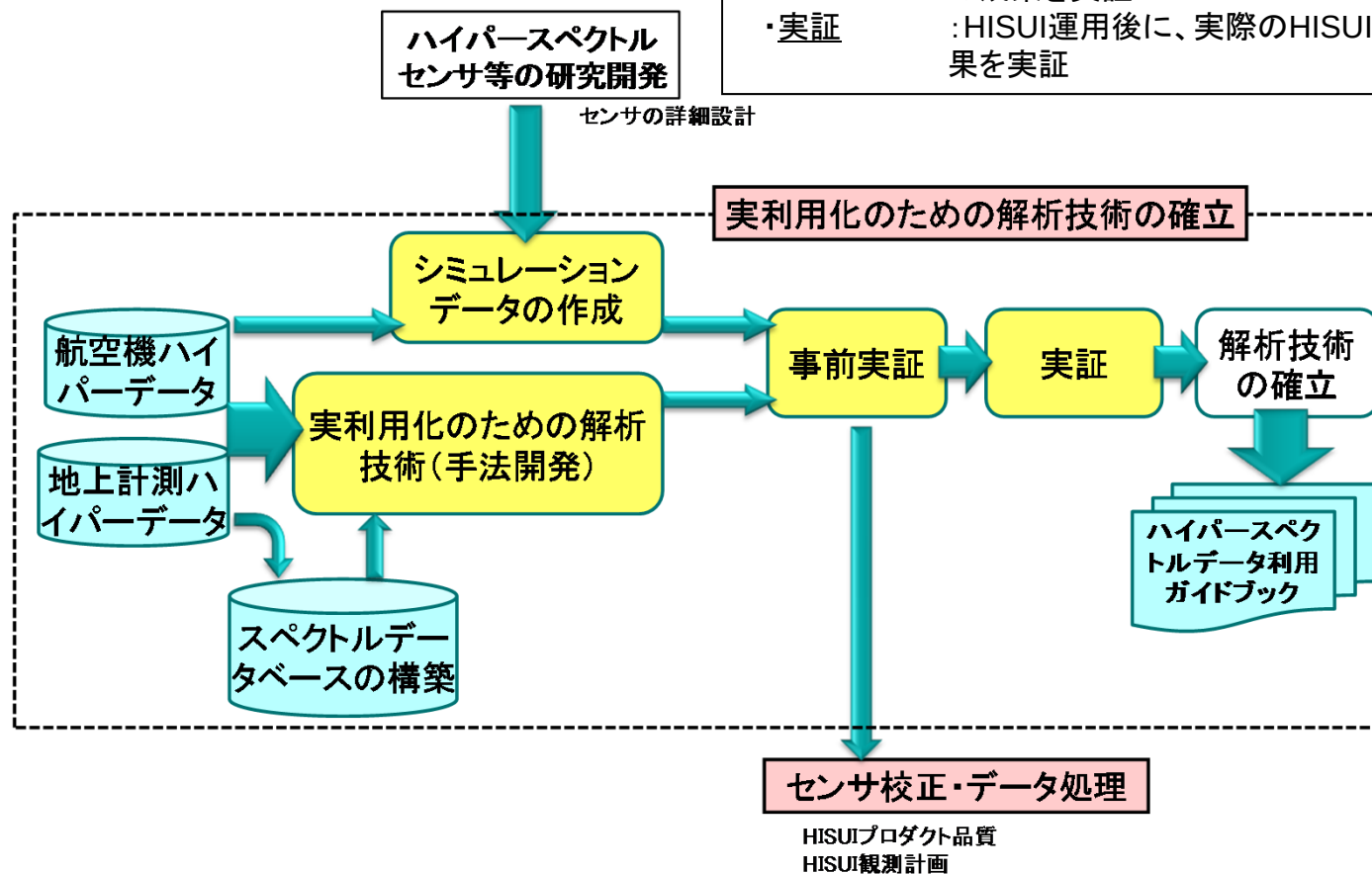
実用化のための解析技術の研究開発の目標

H. 6. 研究開発マネジメント・体制等 (2/5)

研究開発計画

手法開発、事前実証、実証の3つのフェーズに分けて研究開発を実施する。

- ・**手法開発** : 携帯型や航空搭載型のハイパースペクトルセンサを使用し、目標達成に向けた手法の開発
- ・**事前実証** : HISUI運用前に、HISUIシミュレーションデータを使って手法開発の成果を実証
- ・**実証** : HISUI運用後に、実際のHISUIデータを使って開発した手法の成果を実証

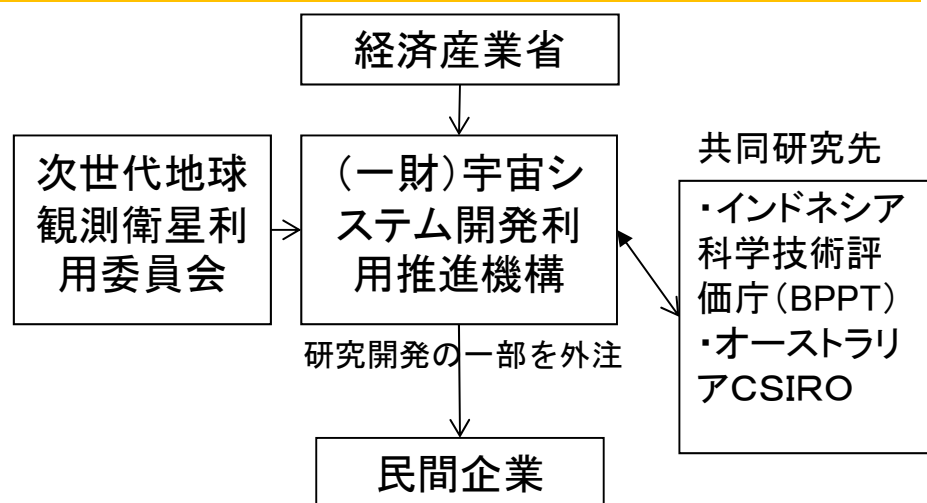


実用化のための解析技術の研究開発の流れ

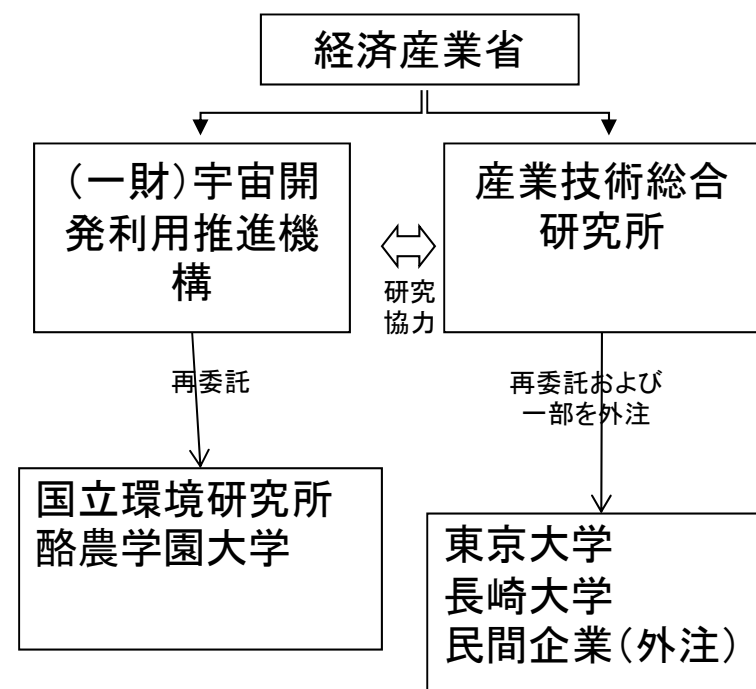
H. 6. 研究開発マネジメント・体制等 (3 / 5)

実施体制

実利用化のための解析技術の確立



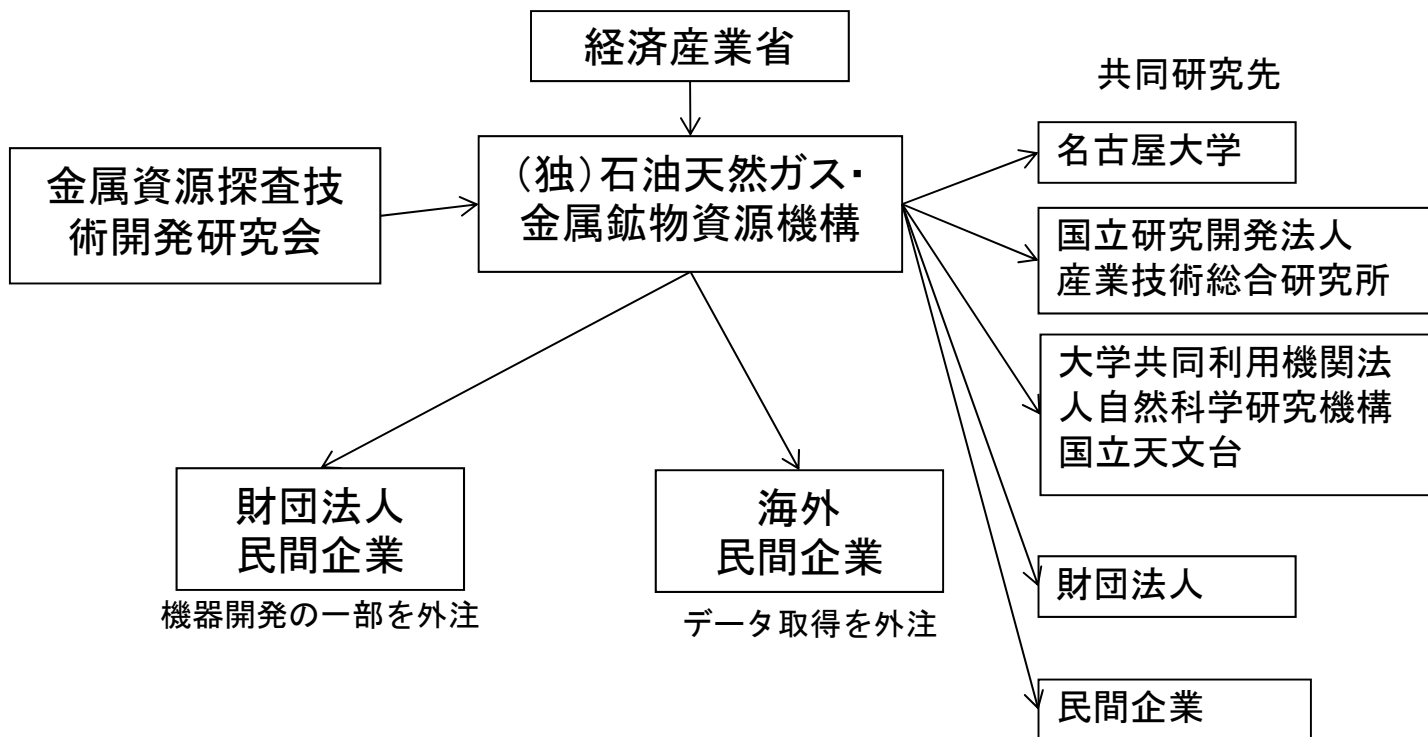
センサ校正・データ処理技術の開発



H. 6.研究開発マネジメント・体制等(4/5)

实施体制

金属資源探査技術の研究開発



H. 6.研究開発マネジメント・体制等(5／5)

変化への対応

搭載衛星計画の変更

HISUIセンサは、開発の検討着手時から文部科学省が研究開発を計画していた「ALOS－3（だいち3）」に搭載することを想定していた。しかし、平成23年8月の「宇宙開発利用の戦略的推進のための施策の重点化及び効率化の方針」において、以下のような指摘があり、「ALOS－3」の開発計画は中止となった。

だいち3（文部科学省（JAXA）、分解能80cm、観測幅50km）は（中略）緊急性等との観点で他のプロジェクトより優先度が低いため、宇宙政策全体の中で他の優先度の高いプロジェクトを実施した上で宇宙予算上可能であれば実施することとすべきである。

搭載衛星（JAXA）の中止に伴い、新たなセンサの宇宙実証機会の模索とともに、ハイパースペクトルデータの共同利用や共同研究の機会についても模索をし、搭載機会拡大のための典型的な衛星を想定して観測されるデータの仕様・性能等を鑑み、開発した手法の汎用化の検討を実施している。

今後のハイパースペクトルセンサのロードマップ

- ハイパースペクトルセンサの開発について、日本が世界をリード
- 安全保障・農業管理・森林監視・資源探査に広く活用される

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

軌道上データに基づく、高空間分解能化・小型軽量化

光学高精度アライメント技術の向上

オンボードデータ圧縮補正処理技術の向上

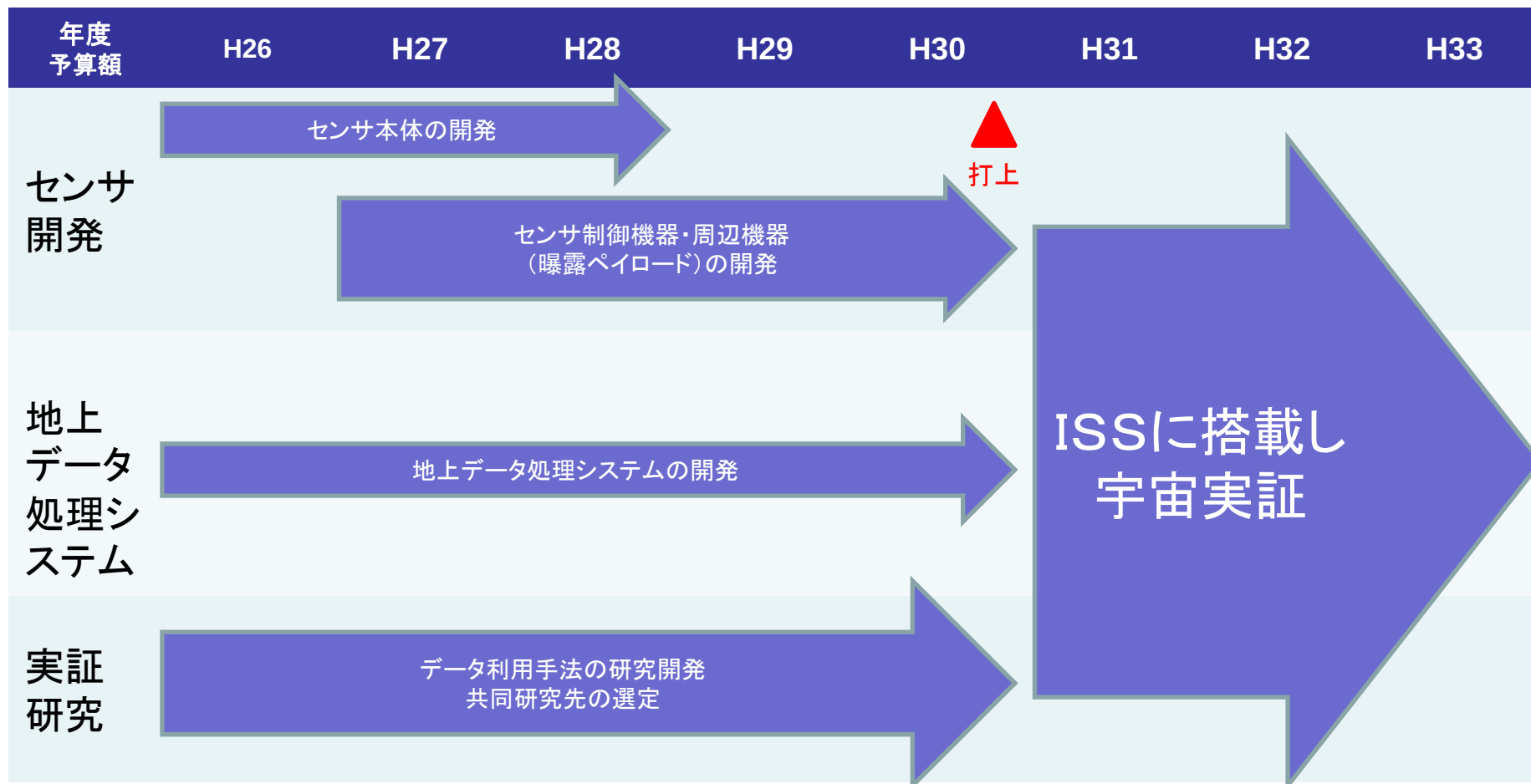
実証データを使った、新規利用ニーズ発掘・ユーザーの拡大

新分野(安全保障分野 等)への適用可能性の評価

データの利用技術の国際共同開発

HISUI-ハイパーセンサ
の宇宙搭載に向けた開発

今後の研究開発スケジュール



※2021年以降もISSきぼう日本実験棟(JEM)の利用が可能であると仮定

H. 7. 前回の中間評価(平成23年度)の結果

中間評価コメント

- 事業(プロジェクト)によっては、既に確立されつつある技術の実用化と長期的な観点から技術レベルの向上を図るものがある。両者とも全体としての目標と、それを具体化するための個別要素技術の達成目標を立てて事業化してゆくのが望ましい。
(全事業共通)
- 目標設定が必要によって決定されることが重要であり、達成可能見込みから判断して目標設定が付けられることがないかを注視する必要がある。(全事業共通)

提言に対する対処方針

- 全体目標とそれを達成するための個別要素技術の目標を立てて実施しており、引き続き事業化に向けて取り組んでまいりたい。なお、本事業においては、センサの開発及び安定的な運用を図ることを全体目標としており、また、それぞれの構成機器等においても個別に評価指標を設定している。
- 目標を設定する際には、事業者側からのみならず、利用者の視点も踏まえた目標となるよう努めているところである。なお、本事業においては、別途実施している、石油資源遠隔探知技術の研究開発において利用事業を実施しており、関係者間の情報共有等も図っているところである。

H. 8. 評価

H. 8－1. 評価検討会

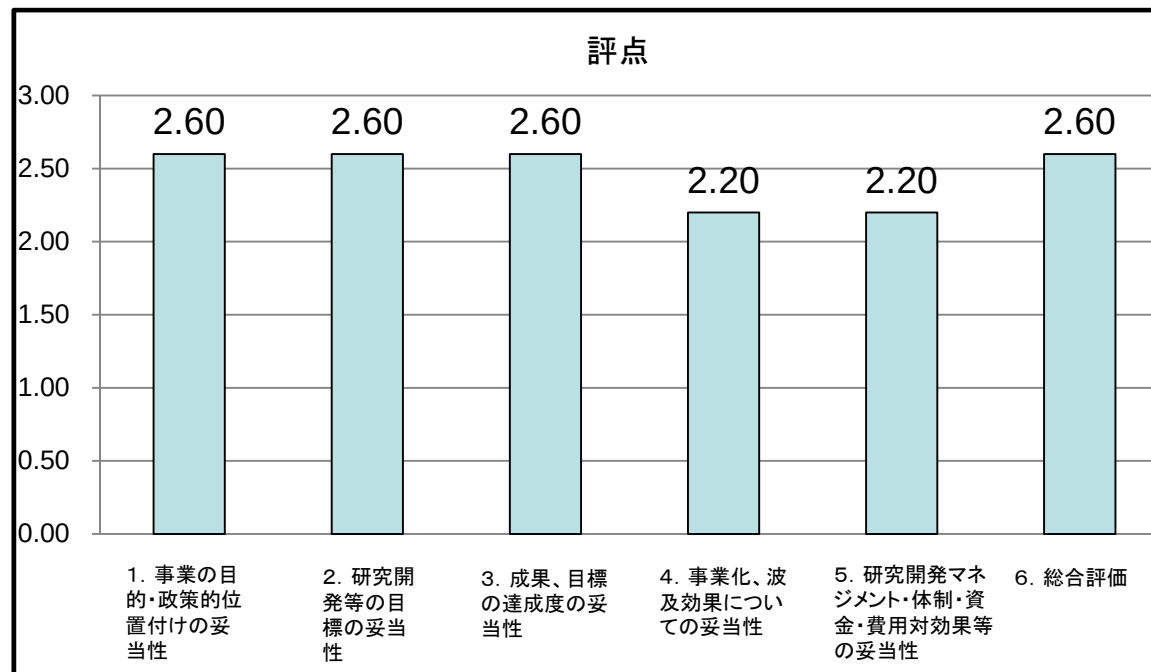
評価検討会名称	宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会	
評価検討会委員	座長	建石 隆太郎 国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター長 教授
	委員	澤谷 邦男 国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部 レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長 中山 裕則 学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授 橋本 英一 元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長 三宅 弘晃 学校法人五島育英会 東京都市大学 工学部機械システム工学科 准教授

H. 8－2. 総合評価(コメント)

- 高頻度観測、高スペクトル観測が必要とされる資源、環境、災害などの分野において、ハイパースペクトルセンサHISUIへの期待は高いと考えられ、その利用に必要となるライブラリデータの整備、校正・データ処理技術や利用手法の開発を行う本事業の目的・政策的意義は妥当である。
- 研究開発の体制は妥当であり、ハイパースペクトルデータの利用が期待されるさまざまな分野の手法開発も順調に進んでいる。特に金属資源探査において岩石鉱物のスペクトルデータを整備し、解析技術を開発したことは評価できる。
- 我が国は、ハイパースペクトルセンサのハード開発及び利用技術のノウハウの面で国際的に優位に立てるポテンシャルを持っていることから、早期に宇宙実証を行うことが重要である。なお、宇宙実証の実施にあたっては、ASTER、PALSARなどの経験を適切に活用すべきである。
- また、プロダクトの配布方法等の検討を含め、将来の利用拡大に向けた取組を引き続き推進していくべきである。

H. 8-3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト中間or事後評価において、
評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

H. 9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- これまで日本の宇宙関連産業が蓄積してきた人工衛星/センサの開発、運用、解析の技術を継承しながら発展させるという点から、人工衛星の高分解能化や高頻度観測、その高精度かつ高速な運用・処理・解析に資する技術の開発についての検討が必要と考えられる。また、輸出が期待される国々のニーズに即した技術の開発についても検討することが重要と考えられる。

具体的には、例えば、

- 複数衛星/センサによる高頻度観測が可能となるような小型化かつ低コストの高機能衛星/センサ技術の開発(本格的な「小型高機能衛星」の実現)
- 資源探査に有効な高空間分解能・高スペクトルの光学センサの発展的な開発
- 小規模機関や民間などでも十分に利用可能な簡易衛星データ受信・処理・解析の一貫システムの開発
- 多様な地域に対応できる衛星データの高精度解析手法の開発

などが想定される。(A～H事業共通)

提言に対する対処方針

- 今後のリモートセンシング衛星に関わる研究開発に当たっては、これまでに培われた技術を承継・活用し、また、その技術を発展させるものとなるよう、検討を行いながら、取り組んでまいりたい。

輸出が期待される国々・ユーザーのニーズに即した研究開発についても、検討してまいりたい。

I 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発 (SERVIS) (中間評価)

製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構
日本電気株式会社

I. 1.宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業(SERVIS)の概要

概 要	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・民生技術のデータベース、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。
実施期間	平成11年度～平成29年度*）（19年間）
予算総額	290.9億円(委託) (平成23年度:2.0億円 平成24年度:1.5億円 平成25年度:1.3億円 平成26年度:1.5億円)
実 施 者	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (平成23年度まで) 委託先: ・実証衛星1号機及び2号機（平成11-23年度） 財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構 ・実証衛星3号機（平成22-26年度） 一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構 日本電気株式会社

*) 事業見直しにより、終期を平成26年度から平成29年度に変更

I. 2.事業の目的・政策的位置付け(1/2)

目的

- 民生部品、民生技術の地上試験と宇宙実証により、宇宙用部品に比べ、安価で高機能な民生部品・民生技術の衛星・コンポーネントへの転用を進める。
- 民生部品、民生技術の宇宙への適用による低コスト化、短納期化及び高機能化により、我が国宇宙関連企業の国際市場への参入が促進される。
- 実証衛星に設計等の標準化等の考え方を取り入れ、将来の宇宙実証手段の低コスト化につなげる。

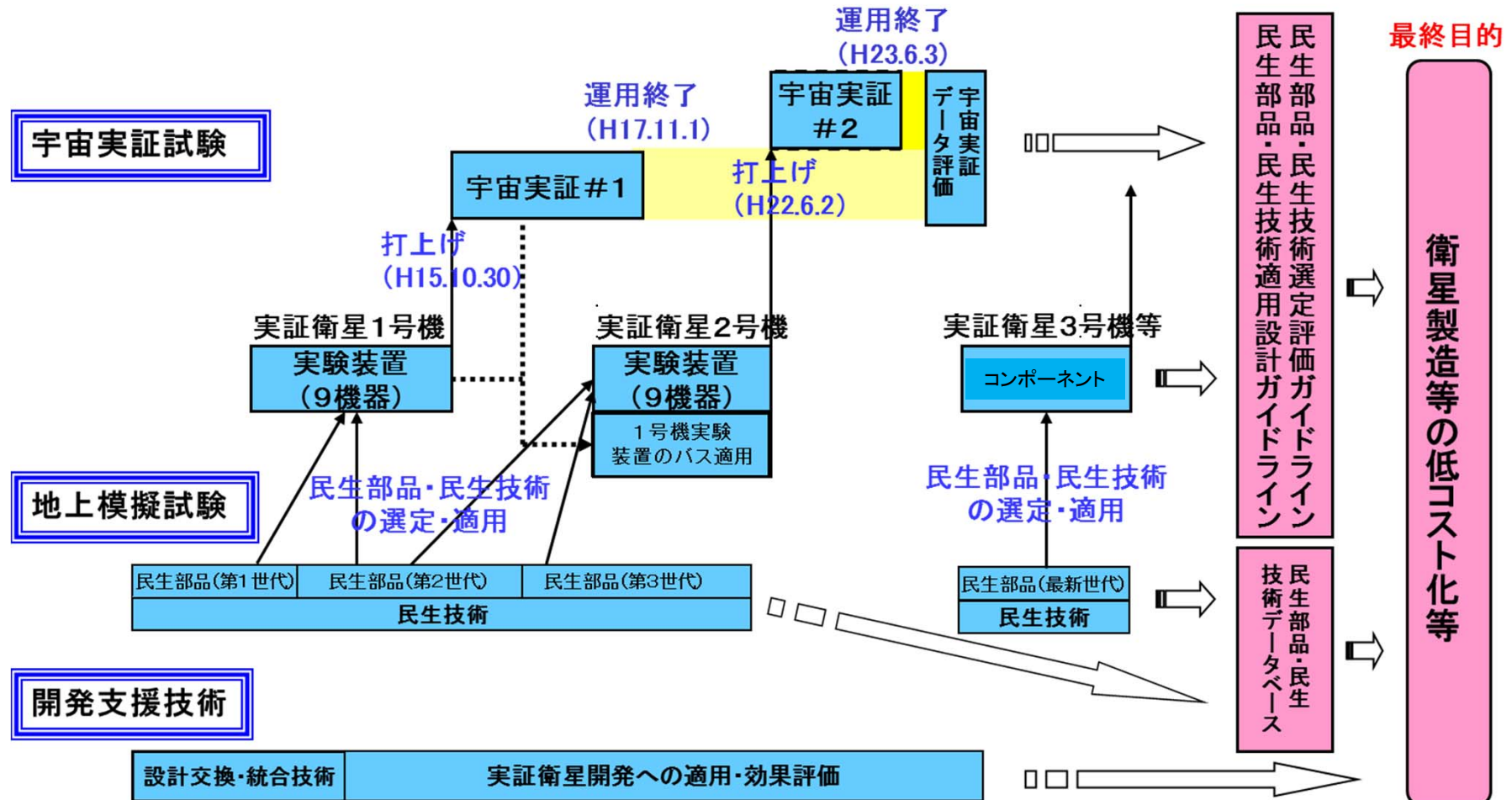
I. 2.事業の目的・政策的位置付け(2/2)

小型衛星の開発、宇宙実証機会の確保による国際競争力強化という観点から、以下の政策に位置づけられている。

- ◆ 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)
- ◆ 技術戦略マップ(平成22年6月14日 経済産業省)
- ◆ 第4期科学技術基本計画(平成23年8月19日、閣議決定)
- ◆ 宇宙基本計画(平成27年1月9日、宇宙開発戦略本部決定)
- ◆ 宇宙基本計画 工程表(平成27年1月9日、宇宙開発戦略本部決定)

I. 3.目標(1/2)

研究開発の流れ



I. 3.目標(2/2)

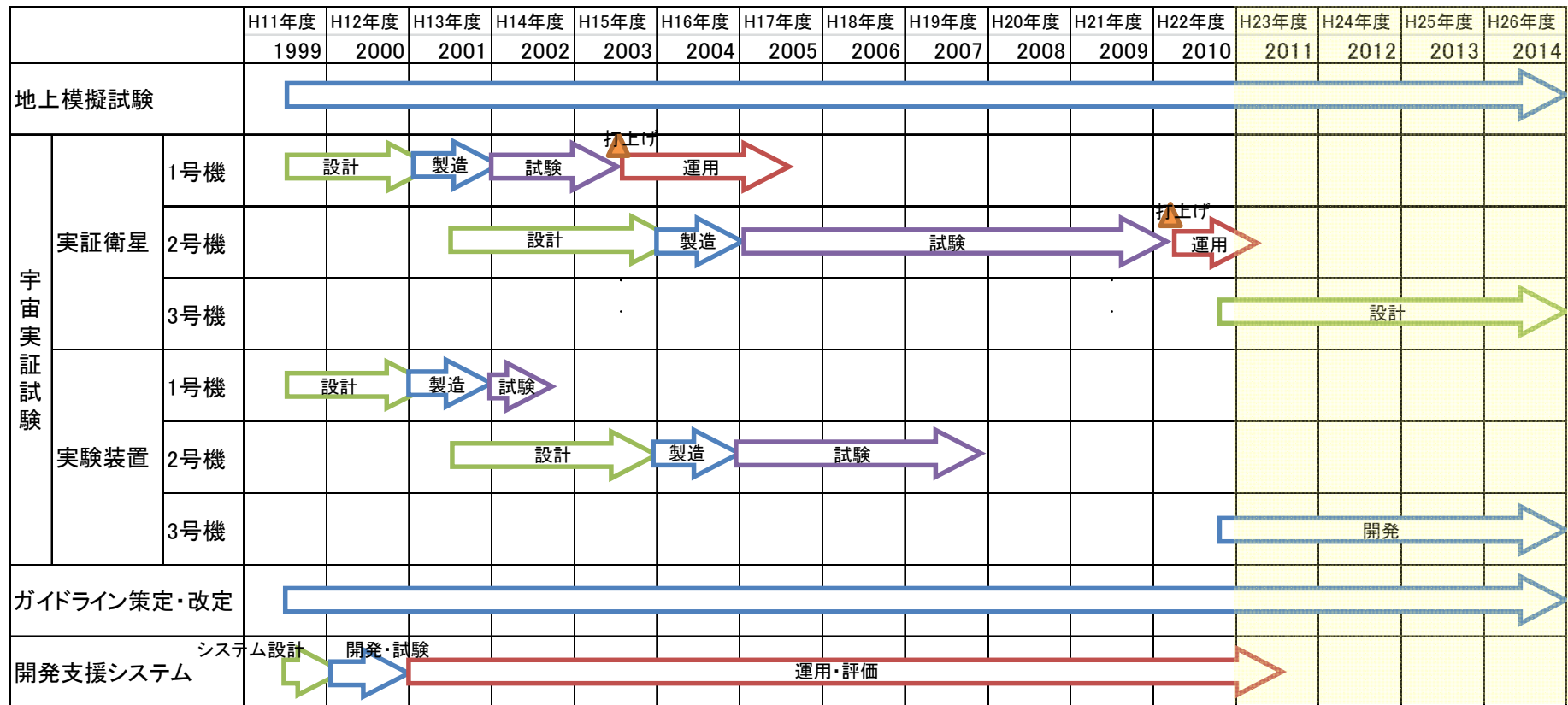
要素技術	目標・指標 (平成22年度に設定した26年度末時点の内容)	妥当性・設定理由・根拠等
①民生部品・民生技術の極限環境適用技術	衛星製造等に転用可能性を有する民生部品・民生技術に対し宇宙等極限環境を模擬した地上模擬試験を実施し、その試験結果から民生部品・民生技術データベースを構築する。ここにデータベースへの累積登録品種数は200品種以上とする。またデータベース活用状況をフォローする。	衛星機器の低コスト化、高機能化、小型・軽量への寄与の可能性を有する品種数の調査結果等によりデータベースの登録品種数を設定した。
	実証衛星2号機へ搭載し実証する民生部品・民生技術数(平成13年度設定)は30品種以上とする。これを反映して、第二次の民生部品・民生技術選定評価ガイドラインと民生部品・民生技術適用設計ガイドラインを構築する。また、ガイドライン類活用状況をフォローする。	実証衛星1号機に関する地上模擬試験結果から得られた予測により、実証衛星2号機に搭載し実証する民生部品・民生技術数を設定した。
	実証衛星3号機への搭載を念頭に、最新の民生部品・民生技術を活用したコンポーネントの開発を行う。また実証衛星3号機のシステム統合化検討を行う。	最新の民生部品・民生技術の宇宙実証試験を行うために必要な作業である。
②極限環境で使用する機器等の開発支援技術	実証衛星1号機及び2号機の開発への適用結果に基づき、極限環境で使用する機器等の設計の省力化、情報管理の迅速化、製造・試験期間の短縮化に関する効果を定量的に評価する。	本開発支援技術により、衛星機器等の開発の効率化が可能となる。

I. 4.成果、目標の達成度(1/10)

要素技術	目標・指標 (平成22年度に設定した26年度末時点の内容)	成 果 (平成26年度末時点)	達成度
①民生部 品・民生技 術の極限環 境適用技術	衛星製造等に転用可能性を有する民生部 品・民生技術に対し宇宙等極限環境を模擬 した地上模擬試験を実施し、その試験結果 から民生部品・民生技術データベースを構 築する。ここにデータベースへの累積登録品 種数は200品種以上とする。またデータベ ース活用状況をフォローする。	地上模擬試験を実施し、その試験結果 から民生部品・民生技術データベースを 構築した。ここにデータベースへの累積 登録品種数は236品種となった。また データベース活用状況を調査し利用促 進を検討した。	達成
	実証衛星2号機へ搭載し実証する民生部品・ 民生技術数(平成13年度設定)は30品種以上と する。これを反映して、第二次の民生部品・ 民生技術選定評価ガイドラインと民生部品・ 民生技術適用設計ガイドラインを構築する。 また、ガイドライン類活用状況をフォローする	実証衛星2号機へ民生部品・民生技術を 搭載し実証した数は74品種となった。こ れを反映して第二次の民生部品・民生 技術選定評価ガイドラインと民生部品・ 民生技術適用設計ガイドラインを構築し た。また、ガイドライン類の活用状況を調 査し利用促進を検討した。	達成
	実証衛星3号機への搭載を念頭に、最新の 民生部品・民生技術を活用したコンポーネ ントの開発を行う。また、実証衛星3号機のシ ステム統合化検討を行う。	5つの新たなコンポーネントの開発を 行った。また、実証衛星3号機のシステ ム統合化方針を明確化した。	達成
②極限環境 で使用する 機器等の開 発支援技術	実証衛星1号機及び2号機の開発への適用 結果に基づき、極限環境で使用する機器等 の設計の省力化、情報管理の迅速化、製 造・試験期間の短縮化に関する効果を量的 に評価する。	設計の省力化、情報管理の迅速化、製 造・試験期間の短縮化に関する効果を 定量的に評価し、有意な効果を確認した。	達成

I. 4.成果、目標の達成度(2/10)

研究開発の経過



塗りつぶし部分が今回の評価範囲

I. 4.成果、目標の達成度(3/10)

地上模擬試験によるデータの取得： 民生部品

品種	H11年	H12年	H13年	H14年	H15年	H16年	H17年	H18年	H24年	H25年	H26年	合計
CPU	5	3	4	1	0	0	0	0	1	0	1	15
DSP	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
SRAM	4	12	6	1	1	1	1	1	0	0	0	27
SOI-SRAM	3	1	4	0	2	0	0	0	0	0	0	10
DRAM	1	10	1	1	3	1	1	0	0	0	0	18
PROM	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
EEPROM	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
フラッシュメモリ	0	0	3	0	1	0	0	0	1	0	0	5
ゲートアレイ	3	0	7	1	2	0	0	0	0	0	0	13
デジタルIC	3	0	19	5	0	0	0	0	0	0	0	27
デジタルIC(SOI)	2	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	8
アナログIC	6	10	21	4	1	0	0	2	5	4	1	54
光部品	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
SOI	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
その他	5	5	11	1	1	0	2	0	1	3	0	29
合計	37	50	81	14	13	2	4	3	8	7	2	221

民生部品： 計**221**品種

(平成23年度以降17部品についてデータを
取得し、データベースに追加した)

I. 4.成果、目標の達成度(4/10)

地上模擬試験によるデータの取得： 民生技術

※全て平成22年度以前に実施

No.	民生技術	搭載実験装置	実証 衛星No.	備 考
1	超塑性加工タンク	ベーン式推薬タンク (VTS)	1	
2	グリース潤滑	次世代パドル駆動機構 (APDM)	1	
3	表面部品実装技術	無調整化TTCTランスポンダ (ATTC)	1	
4	MCM化技術	オンボードコンピュータ (OBC)	1	MCM: Multi Chip Module
5	表面実装技術	スターセンサ統合型衛星制御装置 (SIS)	1	
6	リチウムイオンバッテリーセル	リチウムイオンバッテリーシステム (LIB)	1	Co系電池
7	PHIC実装技術	リチウムイオンバッテリーシステム (LIB)	1	PHIC: Power Hybrid IC
8	リチウムイオン電池	リチウムイオン電池実験装置 (LIBA)	2	Mn系電池
9	MCM実装技術	高性能データ圧縮装置 (HPDC)	2	
10	SOI技術	高性能データ圧縮装置 (HPDC)	2	SOI: Silicon on Insulator
11	GPS受信機	先進測位実験装置 (APE)	2	
12	実装技術	先進測位実験装置 (APE)	2	
13	実装技術	先進衛星構体実験装置 (ASM)	2	
14	磁気軸受	磁気軸受ホイール実験装置 (MBW)	2	
15	MEMS製造技術	RF-MEMS実験装置 (MEMS)	2	

民生技術： 計**15**種

★民生部品・民生技術データベース累積登録数： **236**
(民生部品**221**＋民生技術**15**)

I. 4.成果、目標の達成度(5/10)

データベースのイメージ

部品 管理 No.	型式ID	Device	Function	放射線耐性							
				トータルドーズ(TID)耐性		シングルイベントアップセット(SEU)耐性				シングルイベントラッチアップ(SEL)耐性	
				γ線TID	陽子TID	重イオンSEU		陽子SEU		重イオンSEL	
				Gy(Si)		閾値LET	飽和断面積	閾値LET _{eff}	飽和断面積	発生LET	SEL断面積
						MeV/(mg/cm ²)	cm ²	MeV	cm ²	MeV/(mg/cm ²)	cm ²
(CPU)											
1	11101	CPU	32bit(内部128bitバス)、DRAM(2M)内蔵	>200	-	<1.44	>2.25E-03(d)	-	-	59.8	機能不良
2	11112	CPU	32bit	150	-	<1.5	>2.0E-06(d)	-	-	5.5	>1.0E-06(d)
3	11113	CPU	32bit with FPU	200	-	<1.5	>4.0E-06(d)	-	-	5.5	>1.0E-06(d)
4	11114	CPU	32bit	200	-	<2.9	>1.0E-06(d)	-	-	>61.8	<1.0E-06(d)
5	11225	CPU	32bit	150	<240	~2	~1.0E-06(b)	<20	>3E-13(b)	5.5	4.9E-06(d)
6	11401	CPU	32bit	200	<400	1.5	5E-08(b)	<9.7	1E-013(b)	1.5	4.9E-07(d)
7	21101	CPU	32bit, RISC, 100MHz	170	-	3.5	9.24E-03(d)	-	-	>60	<1.0E-05(d)
8	41315	CPU	64bit	>300	-	3	2.0E-03(d)	-	-	19.8	9.8E-05(d)
9	41320	CPU	64bit	>300	-	3	1.7E-07(b)	-	-	14	6.6E-07(d)
10	51201	CPU	マイクロコンピュータ	<200	307	4.3	1.0E-05(b)	0.12	1.5E-13(b)	26.2	4.56E-04(d)
11	51301	CPU	16bit 1チップCPU, 256kB(Flash), 8kB RAM	123	-	0.64	7.9E-08(b)	0.5	4.0E-14(b)	1.85	6.7E-03(d)
12	51308	CPU	32bit, 40MHz, 3.3V 内蔵Flash512kbyte 内蔵RAM32kby	200	-	2.9	2.0E-04(d)	16.3	1.59E-16(b)	5	6.80E-04(d)
13	61204	CPU	16bit	300	-	7.5	7.0E-03(d)	-	-	26.2	>2.5E-05(d)
226	42409	CPU	16bit	200	-	(内蔵RAM) > 0.5 (Flash ROM) > 3 (総合動作) > 3.0	5.30E-04 1.70E-05 5.0E-04	80	8.0E-11	5.9	3.3E-03
(DSP)											
15	41101	DSP	32bit	100	-	3	1.1E-02(d)	-	-	14	2.5E-05(d)
16	51306	DSP	32ビットRISC	752	-	3	2.1E-09(b)	0.6	8.50E-14	>26	<9.32E-0(d)
(SRAM)											
18	11103	SRAM	4Mbit(512K × 8bit)	150	-	1.44	2.44E-08(b)	-	-	>82.2	<1.0E-06(d)
19	11107	SRAM	4Mbit(256K × 16bit)	100	-	>5.5	<1.0E-06(d)	-	-	5.5	>1.0E-06(d)

(J-spacesystemsホームページより抜粋)

I. 4.成果、目標の達成度(6/10)

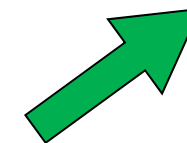
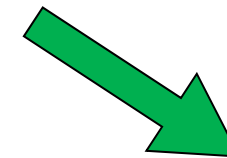
実証衛星2号機に搭載した実験装置からデータを取得

No.	名 称	略称
1	リチウムイオン電池実験装置	LIBA
2	高アシュアランスデータマネージメント装置	ADMS
3	自律フォールトトレラント計算機	CRAFT
4	リモートターミナル実験装置	PPRTU
5	高性能データ圧縮装置	HPDC
6	先進測位実験装置	APE
7	先進衛星構体実験装置	ASM
8	磁気軸受ホイール実験装置	MBW
9	RF-MEMS実験装置	MEMS
10	部品単体試験装置	—



新しく開発した上記9コンポーネントの有用性を示すとともに、それらに用いられた以下の部品・技術についてデータを取得

分 類		実証衛星2号機への搭載数
機器実験装置	民生部品	57
	民生技術	8
部品単体試験装置		9
総 計		74

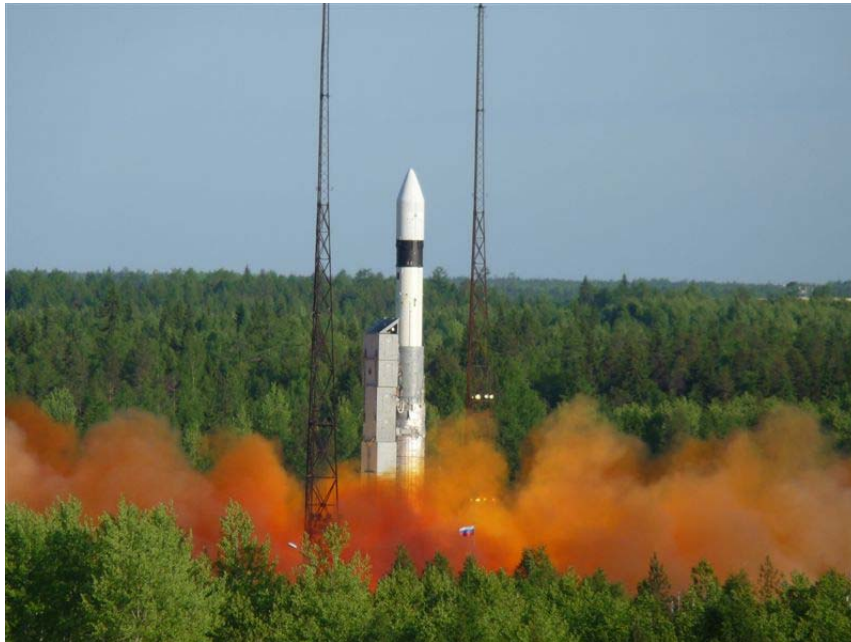


ガイドラインに
反映

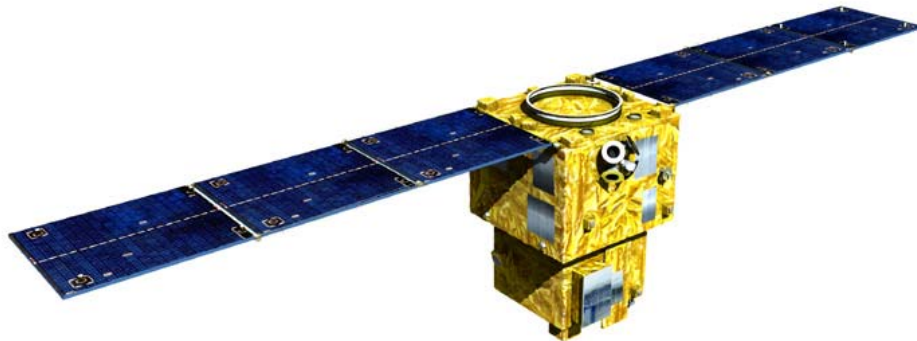
I. 4.成果、目標の達成度(7/10)

(参考)

実証衛星2号機



実証衛星2号機の打上げ（ロシア・プレセツク射場）



実証衛星2号機の軌道上外観

実証衛星2号機の主要諸元

項 目	諸 元
打上げ日	平成22年6月2日
打上げロケット	ロコット(ROCKOT)
運用軌道	高度1200 km、軌道傾斜角100.4deg 太陽同期軌道(SSO)
運用期間	1年（運用終了:平成23年6月3日）
衛星重量	740kg
外形寸法	2.5m(H) x 10.2m(L)
発生電力	1300W以上(太陽指向時、EOL)
衛星制御系	ISCによる統合化制御
姿勢制御系	3軸制御
電源系	50Vフローティングバス リチウムイオンバッテリー
データハンドリング系	CCSDS準拠パケット方式
通信系	テレメトリ:USB (2kbps), HSB (256kbps) コマンド: 4000bps
推進系	1液式(ヒドラジン) 1Nスラスタ12本
運用管制設備	USEF運用管制センター(USOC)
追跡管制局	JAXAグラウンドネットワーク(GN)局
ペイロードへのリソース	重量: 300 kg以上、電力: 500 W以上 データレート: 2400 bps以上

I. 4.成果、目標の達成度(8/10)

作成したガイドライン類

選定評価ガイドライン

1. 総則
2. 適用文書・関連文書
3. 基本方針
4. 民生部品選定基準
 - 4.1 民生部品の定義
 - 4.2 環境条件
 - 4.3 部品選定基準
5. 評価試験
 - 5.1 スクリーニング項目／試験条件設定
 - 5.2 品質確認試験項目／試験条件設定
 - 5.3 放射線耐性試験
 - 5.3.1 トータルドーズ試験方法
 - 5.3.2 シングルイベント耐性
 - 5.3.3 その他の放射線耐性特性
6. 信頼性保証
7. 採用に当たっての留意点・制約事項
8. 宇宙実証結果との比較方法
9. 宇宙実証結果から得られた放射線試験に対する留意事項

適用設計ガイドライン

1. 目的
 2. 適用・関連文書等
 3. 定義
 4. 設計基準
 - 4.1 全般
 - 4.2 機器総合設計
 - 4.3 電気設計
 - 4.4 機構設計
 - 4.5 熱設計
 - 4.6 EMC設計
 - 4.7 耐放射線設計
 - 4.8 インタフェース設計
 - 4.9 信頼性設計
 - 4.10 安全性設計
 - 4.11 実装設計
 - 4.12 部品・材料選定基準
- 付録:適用設計例

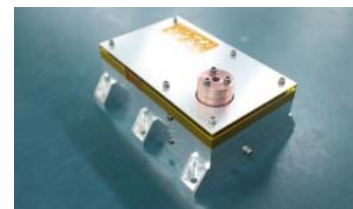
I. 4.成果、目標の達成度(9/10)

民生部品・民生技術を活用して以下のコンポーネントの開発を行った。

No.	名 称	略称	概 要
1	トランスポンダ	STRX	追加回路の要素試作・試験を実施し、目標とする仕様を満足できることを確認済
2	電力制御器	PCU	バッテリー充電機能、温度制御機能等追加の要素試作・試験を行い、実現性を確認済
3	グリーンプロペラント推進系	GPRCS	HANベースの低毒性推進薬を適用した、1N級スラスタを開発中
4	半導体増幅器	SSPA	GaNを採用したKu及びKa帯MMICを新たに開発すると共に、これを適用したSSPAを開発中
5	環境計測装置	SPM	広範囲なエネルギーの放射線粒子を計測できる小型で低価格の装置として開発中



GPRCS

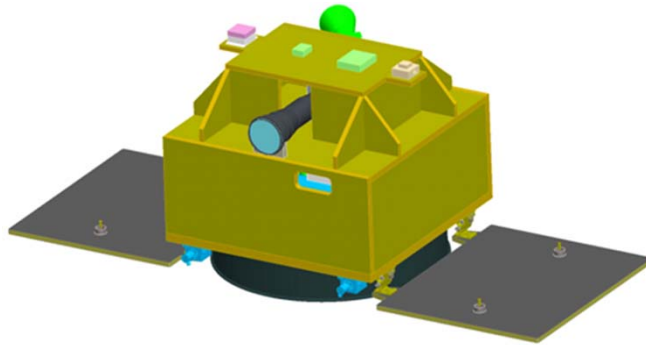


SPM

I. 4.成果、目標の達成度(10/10)

実証衛星3号機のシステム統合化検討を実施した。

- システム統合化の検討を行い、定量的効果を確認
- ・姿勢制御系インタフェース統合化
 - ・ペイロードインタフェース統合化



実証衛星3号機の軌道上外観

実証衛星3号機の主要諸元

項 目	諸 元
ミッション	光学センサ(TBD)
民生部品の適用	最新の民生部品を採用 -機器の小型化、高機能化 -輸出入管理(ITAR規制等)の影響回避
コンポーネント	トランスポンダ(STRX) 電力制御器(PCU) グリーンプロペラント推進系(GPRCS) 半導体増幅器(SSPA) 環境計測装置(SPM)
適合ロケット	H-IIAサブペイロード, イプシロン, ASAP-5, Falcon 等の主要ロケットに適合
軌道	低高度周回軌道(高度500~700km)
地上局	追跡管制・データ受信局(国内)
設計寿命	1年以上(SERVIS-3ミッション要求) 5年以上(標準バスとしての設計目標)
質量	打上質量: 170kg(内、推薬4kg) ペイロード搭載能力: 最大80kg
電力	発生電力: 370 W(1年後) ペイロード供給電力: 最大80W

I. 5.事業化、波及効果(1/2)

(1) 知的基盤の活用

我が国で初めて構築された民生部品・民生技術のデータベース及びガイドラインは既存の宇宙関連企業のみならず新規参入企業にも活用されており、これによって我が国の宇宙産業の底上げと裾野拡大に貢献している。

以下にその例を示す。

- ・九州工業大学: 小型衛星用部品の試験技術開発、小型衛星開発
- ・JAXA(複数組織): 衛星への民生部品適用、JAXA内委員会での参考等
- ・MHI(複数組織): 新型基幹ロケット開発での民生部品適用等
- ・AES: 小型衛星設計における部品選定
- ・キヤノン電子: 小型衛星の民生部品使用による低コスト化推進

平成23年度から現在までの配布数

ガイドライン: 18件 、データベース: 14件

(2) 機器実験装置の売り込み

実証衛星1号機及び2号機の実証成果を基にした先進的バス機器について、開発担当企業による国内及び世界市場への売り込みが進んでいる。

その中で特徴的なものを以下に示す。

- ・リチウムイオンバッテリー: 世界でのシェアの約40%を確保
- ・次世代パドル駆動機構: JAXA科学衛星に採用
- ・統合電力制御装置: ASNARO等の電源系に採用済
- ・リモートターミナル実験装置(PPRTU): スペースワイヤのベースを確立

I. 5.事業化、波及効果(2/2)

(3) 低コスト衛星バス構築と売り込み

実証衛星1号機及び2号機の開発を通じて、将来低コスト衛星バス実現の方策が得られた。その結果、実証衛星1号機及び2号機と同規模(500～1500kg級)の衛星バスのリカリングコストは半減でき、将来衛星バスの世界市場での売込が期待できる。

実証衛星3号機の検討においては、100kg級衛星バスがシステム統合化によりペイロード搭載比率向上とインタフェース簡素化が可能となることを確認した。その結果、低コスト化が期待できる。

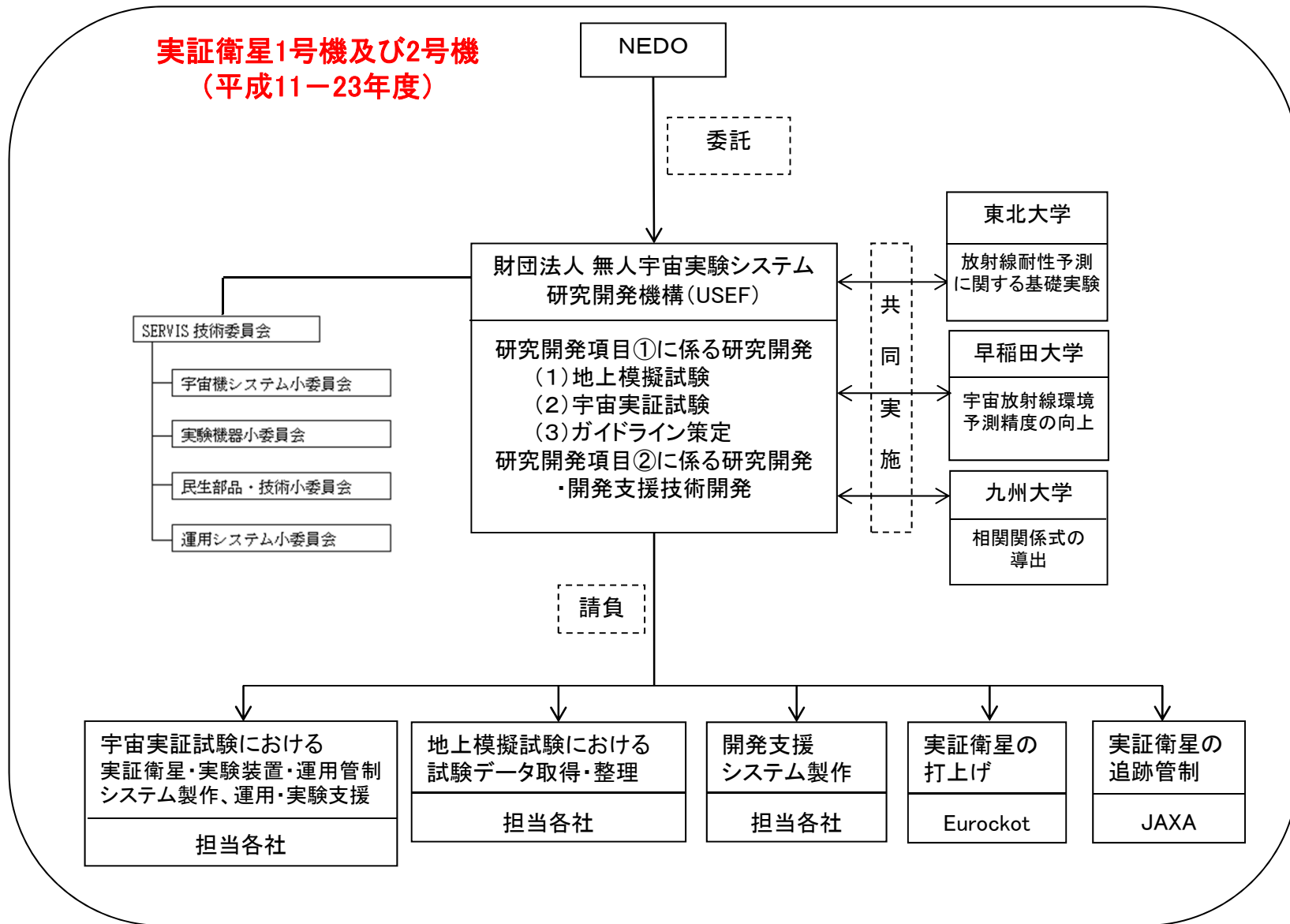
(4) 国際標準化

日本がリードして宇宙用リチウムイオンバッテリーの国際標準(ISO)化を進めており、これにより我が国のメーカーの世界市場における競争力強化を図る。

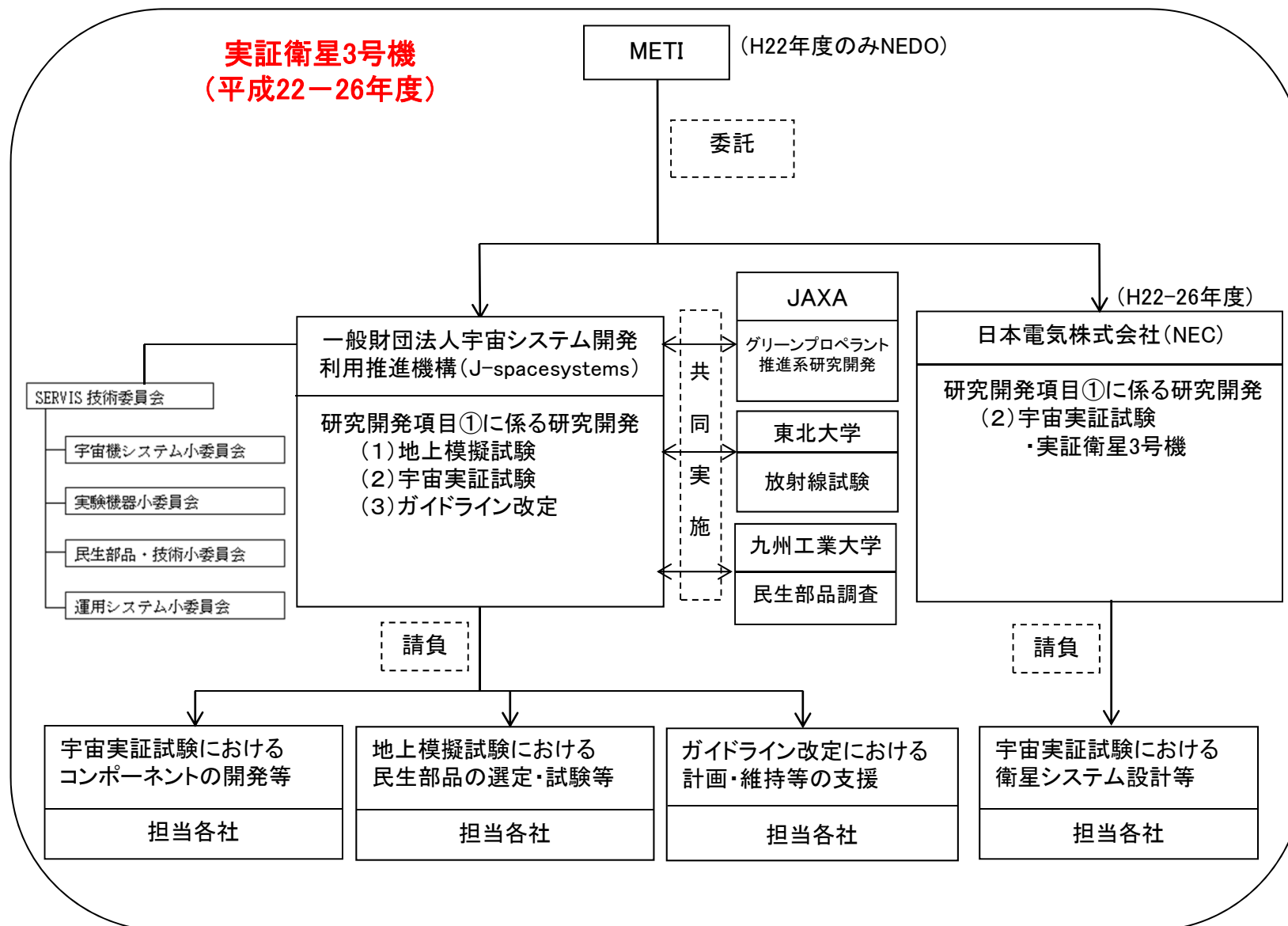
(5) 他分野への波及効果

放射線耐性を持つ民生部品・民生技術のデータベース及びガイドラインは宇宙関連機器だけでなく、石油掘削装置、原子力関連設備等へ波及効果が期待できる。

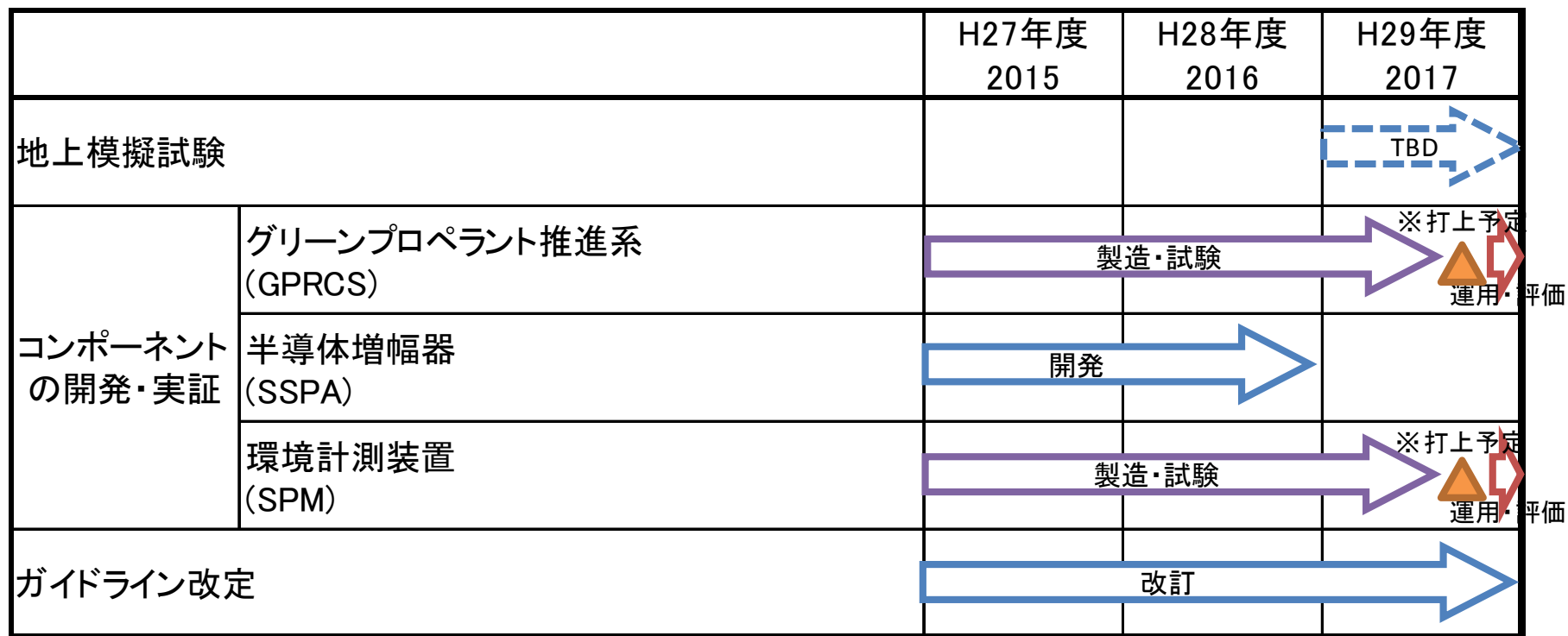
I. 6. 研究開発マネジメント・体制等 (1/2)



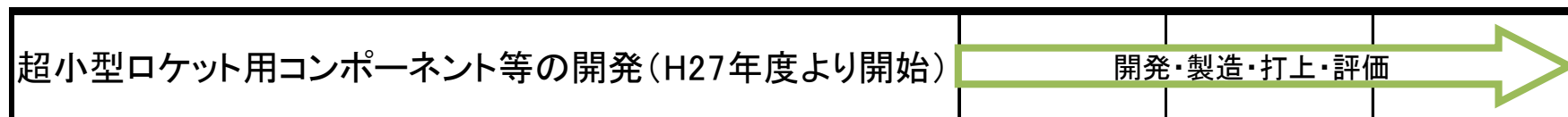
I. 6.研究開発マネジメント・体制等(2/2)



(参考) 今後の研究開発スケジュール案



※JAXA革新的衛星技術実証プログラムに応募中



(参考)革新的衛星技術実証プログラム

革新的衛星技術実証プログラム
平成28年度概算要求額 2,580百万円（うち、要望額 1,660百万円）
（平成27年度予算額 920百万円）

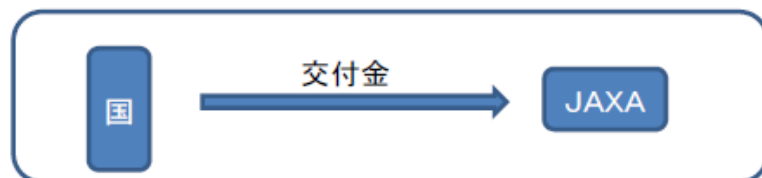
文部科学省研究開発局
宇宙開発利用課
03-6734-4153

事業の内容

事業の概要・目的

- 宇宙基本計画を踏まえ、本事業では、以下を目的とします。
 - ①衛星のキー技術等の実証及びこれによる宇宙産業振興やイノベーションへの貢献
 - ②宇宙利用拡大のための産業界・大学等の新規参入促進
 - ③人材育成を視野にいた、産業界・大学等によるチャレンジな小型衛星技術の開発支援
- 平成28年度は、平成29年度の小型実証衛星初号機及び複数機の公募型超小型衛星の打上げに向けて、小型実証衛星及び搭載実証機器の開発、公募型超小型衛星開発支援、イプシロンロケットの調達等を行います。

条件（対象者、対象行為、補助率等）



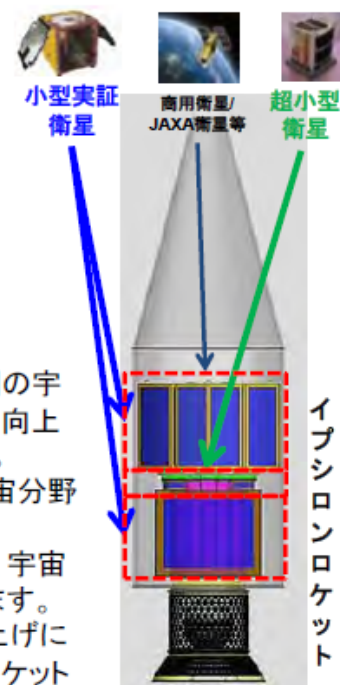
事業イメージ

○事業内容

平成29年度の打上げを目指してミッション選定および小型実証衛星の開発を行います。また、産業界・大学等によるチャレンジな超小型衛星の開発の場を提供します。

○期待される成果

- ・キー技術等の実証により、我が国の宇宙分野を支える技術基盤の維持・向上及び国際競争力強化に繋がります。
- ・新規の大学や民間企業等へ、宇宙分野への参入機会を提供します。
- ・チャレンジな技術開発を通し、宇宙分野における人材育成に貢献します。
- ・イプシロンロケットの定期的な打上げにより、宇宙産業の拡大及び固体ロケットの技術基盤・産業基盤の維持・向上に繋がります。



小型実証衛星等の搭載イメージ
※打上号機により搭載形態は様々

（出展）宇宙政策委員会第42回会合 参考資料1

I. 7. 前回の中間評価(平成23年度)の結果

中間評価コメント

- 民生技術・部品の宇宙実証(SERVIS衛星)によるデータベースを活用して国際標準化する方法を探せないか。往々にして日本は国際的な戦略に劣るので、日本の優れた材料や部品で国際的な戦略を立てるのが望ましい。その意味で、次世代構造部材創成・加工技術も戦略的な技術となり得る。
- 空中発射システムを使って50kg級を3機同時打上げとし、毎年2、3回打上げることによるアンカーテナンシーとして確保することで、事業化を促進するとともに、宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業等で、ベンチャー衛星メーカーによる50kg級の衛星を年6～9機作る。これに載せて技術実証すべき中小企業による開発機器を載せて軌道上実証させるなど、ロケットメーカー、ベンチャー衛星メーカー、新規参入の中小企業とすべてを関連付けて成果に結び付けていくことも必要であると考え。特にベンチャーや中小企業の製品は、大手に比べて低コストで実証ができる。

提言に対する対処方針

- 本事業の中にはないが本事業での民生部品に対する放射線試験に関する成果を反映し、平成26年度から「民生部品の宇宙放射線試験に関する国際標準化委員会」を設け、この委員会で放射線試験をベースにした国際標準化の検討を開始した。これが実現できれば、日本にとって有利なものとなる。更に、リチウムイオンバッテリー(LIB)は既にISOにおいて審議を継続しており、標準化による競争力強化が期待できる。
- 新規参入のベンチャー企業が本事業で構築したデータベースやガイドライン類を活用することにより衛星、機器の開発においては力を付けてきており、実現に近づきつつある。ただ、空中発射システムは実現が厳しい見込みであることから衛星の打ち上げは別の手段で実現する必要がある。

I. 8. 評価

I. 8－1. 評価検討会

評価検討会名称	宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会	
評価検討会委員	座長	建石 隆太郎 国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター長 教授
	委員	澤谷 邦男 国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部 レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長 中山 裕則 学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授 橋本 英一 元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長 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

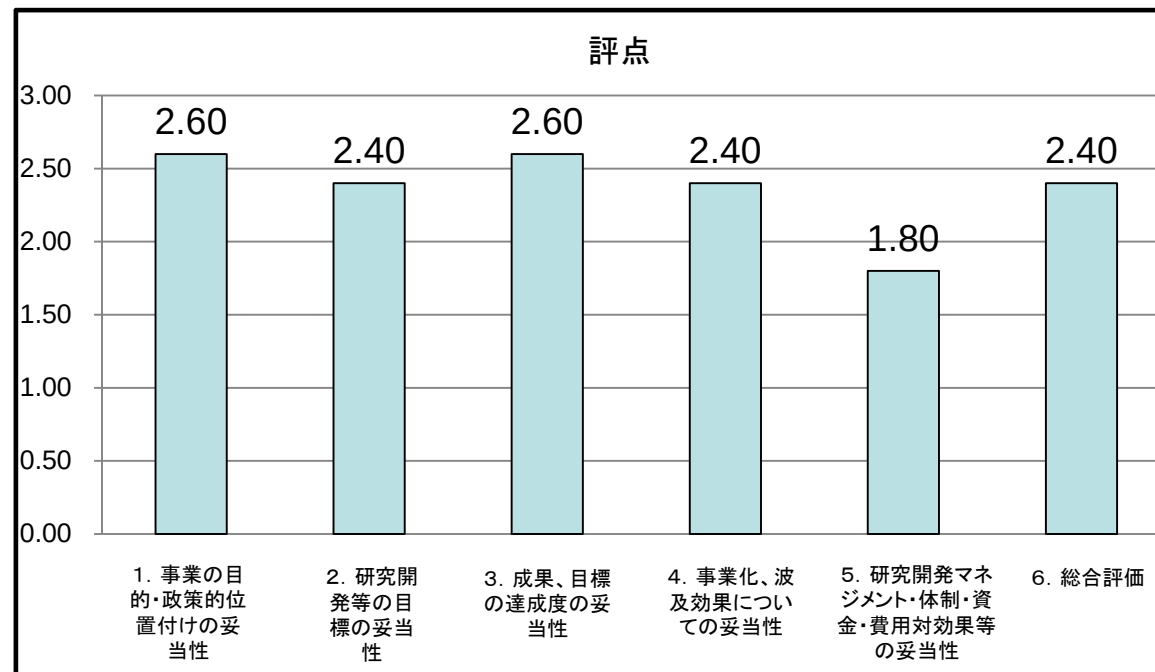
I. 8－2. 総合評価(コメント)

- 民生技術を活用し、人工衛星等で使用できる安価かつ高機能の部品やコンポーネントを増やしていくことは、我が国宇宙産業の国際競争力強化に極めて重要であり、本事業の意義は大きい。
- 本事業において進めてきた、民生部品のデータベース化及び選定評価ガイドライン、適用設計ガイドラインの作成は、衛星機器の設計・製作に寄与し、評価できる。
- 部品については、地上模擬試験の有効性が明らかになってきていること、民生部品についてはライフサイクルが短くなっていることなどを踏まえ、宇宙実証の必要性は低下していると考えられる。また、100～200kg級衛星による宇宙実証は、JAXAの革新的小型衛星技術実証プログラムで実現されつつあり、3号機の開発は必要性がなくなったと考えられる。
- 今後は、民生技術を活用したコンポーネントの開発及び部品の地上模擬試験に注力するとともに、JAXAが行う革新的小型衛星技術実証プログラムとの連携を図り、効率的に事業を実施していくべきである。

I. 8－3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト中間評価において、評点法による評価を実施した。

○「5. 」については、実証衛星3号機の開発の必要性がないことから、評点が2点を下回った。なお、現在、実証衛星3号機の開発を見直し、JAXAが行う革新的小型衛星技術実証プログラムとの連携により実証を行っていく予定である。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

Ⅱ 太陽光発電無線送受電技術の 研究開発 (終了時評価)

製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

J. 1.太陽光発電無線送受電技術の研究開発の概要

概 要	宇宙太陽光発電システム(SSPS)に不可欠な精密ビーム制御技術の研究開発を行うことにより、SSPSの実現を目指すことを目的とする。本技術は、複数のフェーズドアレイアンテナ間の位相同期を行い、レトロディレクティブ技術を活用し、マイクロ波ビームを受電アンテナに向けて電力伝送するものである。研究開発の実行においては、高効率・軽量薄型・高精度を実現するための個別要素技術を獲得し、送電系・ビーム方向制御系・受電系をトータルに考えたシステム実証を行う。また、当該技術の地上での応用を図る。
実施期間	平成21年度～平成26年度（6年間）
予算総額	16.5億円(委託) (平成23年度:1.5億円 平成24年度:11.5億円)
実 施 者	・一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構(マイクロ波による精密ビーム制御技術の研究開発) ・三菱重工業株式会社(位置・角度補正法及び並列化法による電送制御技術に関する有効性検討) ・株式会社三菱総合研究所(無線送受電技術研究開発支援業務)

J. 2.プロジェクトの目的・政策的位置付け

事業の目的

- エネルギーの安定供給の確保、地球環境問題等への対応の観点から、石油代替エネルギーの導入拡大を図ることが重要である。
- 宇宙太陽光発電システムは、発電時の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・天候に左右されることなく発電が可能となり、ベースロードとしての活用が期待されている。
- 本事業では、将来の新エネルギーシステムとして期待される宇宙太陽光発電システムの中核技術であるマイクロ波による無線送受電技術を確立することを目的とする。

政策的位置づけ

宇宙基本計画やエネルギー基本計画において、将来の新エネルギーとして、宇宙太陽光発電システムの技術開発の必要性が位置づけられている。

○宇宙基本計画(平成27年1月宇宙開発戦略本部決定)抜粋

エネルギー、気候変動、環境等の人類が直面する地球規模課題の解決の可能性を秘めた「宇宙太陽光発電」を始め、宇宙の潜在力を活用して地上の生活を豊かにし、活力ある未来の創造につながる取組に関する研究を推進する。

○エネルギー基本計画(平成26年4月閣議決定)抜粋

宇宙太陽光発電システム(SSPS)の宇宙での実証に向けた基盤技術の開発などの将来の革新的なエネルギーに関する中長期的な技術開発については、これらのエネルギー供給源としての位置付けや経済合理性等を総合的かつ不断に評価しつつ、技術開発を含めて必要な取組を行う。

J. 3.目標

項目	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
総合システム	無線送受電技術の確立に向け、送電系・ビーム方向制御系・受電系をトータルに考えた精密ビーム制御マイクロ波送受電技術の研究開発を行う。最終年度には試験モデルによるシステム実証を兼ねた伝送試験を行う。	将来SSPS用マイクロ波電力伝送技術を念頭に、地上実証課題や技術実現性を考慮して課題を抽出して研究開発を行う。また取り組むべき技術に取り残しが出ないように、システム全体としての送電実験を計画する。なお、技術成果を高める為、送電部、受電部、ビーム方向制御部は、それぞれ専門性の高い部署で担当させる。
送電部	将来の軌道上実証への応用を考慮し、小型・薄型・高効率化を志向した半導体を使用し、複数の送電モジュールによるフェーズドアレイアンテナを開発する。マイクロ波の位相同期を図りつつ、キロワット級のエネルギーを送電可能なものとする。	商用SSPSの送電部は宇宙に設置された大量のアンテナパネルを組み合わせた巨大なシステムとなるため、小型化・薄型化・高効率化が求められる。また、通信用フェーズドアレイの域から脱するためにも送電出力電力はキロワット級とする。
受電部	伝送されてくるマイクロ波を複数の受電モジュールで受け、効率よく電力として取り出す整流アンテナ(レクテナ)を開発する。あわせて変換効率の高い整流素子(ダイオード)を開発する。	伝送されるマイクロ波エネルギーを測定するだけでなく、利用可能な電力に変換して高効率でとり出す技術が求められる。また高効率化実現のための整流素子ダイオードの技術開発が必要である。
送電制御技術	精密なビーム制御技術の研究開発として、位置・角度補正法(PAC法)及び並列化法による送電制御技術に取組み、実現性や有効性を明らかにする。	超遠距離送電を行う将来のSSPSを見据えた精密なビーム制御技術が求められる。複数の技術から選択できる余地を確保しておく必要がある。JAXAの方法(REV法)とは異なる手法についても並行して検討する。
試験候補地調査	国内における屋内・外の試験候補地調査を行い選定する。また、マイクロ波電力伝送試験実施に必要な課題を抽出してその対応法を見出す。	試験作業を円滑に遂行するための周辺作業が本研究開発の成否に大きく寄与する。

J. 3.目標(続き)

項目	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
関連技術 動向調査	本研究開発と密接に関連する国内外の研究動向について明らかにする。	本研究開発に関連する技術情報や動向を広く収集し、必要に応じて本研究開発計画に反映する。
無線送受 電スピン オフ技術	成熟度の高い技術を活用して、産業応用を目指した低コスト実証システム（送電出力10kW程度、送電距離500m程度）を試作評価する。また、電力事業者の観点から適用可能性を検討する。	マイクロ波無線送電は他方式と比べ長距離間の送受電が可能であり、低コスト化システムを試作することで産業応用に大きく寄与する。また、電力事業者による適用可能性検討は実施意義が大きい。

J. 4. 成果、目標の達成度

項目	目標・指標	成果	達成度
総合システム	無線送受電技術の確立に向け、送電系・ビーム方向制御系・受電系をトータルに考えた精密ビーム制御マイクロ波送受電技術の研究開発を行う。最終年度には試験モデルによるシステム実証を兼ねた伝送試験を行う。	マイクロ波電力伝送試験モデルを試作した。本試験モデルを用いて、マイクロ波電力伝送試験を実施した。5.8GHz帯でフェーズドアレイアンテナを用いてキロワット級マイクロ波ビームの制御システムの屋外無線送電としては、世界的に類を見ない実験の成功となった。	達成
送電部	将来の軌道上実証への応用を考慮し、小型・薄型・高効率化を志向した半導体を使用し、複数の送電モジュールによるフェーズドアレイアンテナを開発する。マイクロ波の位相同期を図りつつ、キロワット級のエネルギーを送電可能なものとする。	薄型・高効率のフェーズドアレイアンテナからなる送電モジュールを開発した。 送電部は4枚の送電モジュール(アンテナ数1216素子)を組み合わせ、約1.8kWの電力を送電可能である。	達成
受電部	伝送されてくるマイクロ波を複数の受電モジュールで受け、効率よく電力として取り出す整流アンテナ(レクテナ)を開発する。あわせて変換効率の高い整流素子(ダイオード)を開発する。	市販のショットキーバリアダイオードを使用し、36個の受電モジュール(アンテナ数2304素子)で構成する、大規模で高効率動作する受電部を開発した。これと並行して、窒化ガリウム(GaN)を使用した高効率整流素子(ダイオード)を試作評価した。	達成
送電制御技術	精密なビーム制御技術の研究開発として、位置・角度補正法(PAC法)及び並列化法による送電制御技術に取組み、実現性や有効性を明らかにする。	両手法の伝送効率の低下量や不要波の発生レベルについて解析・試験を行い、将来のSSPSへ適用可能である見通しを得た。	達成

J. 4.成果、目標の達成度(続き)

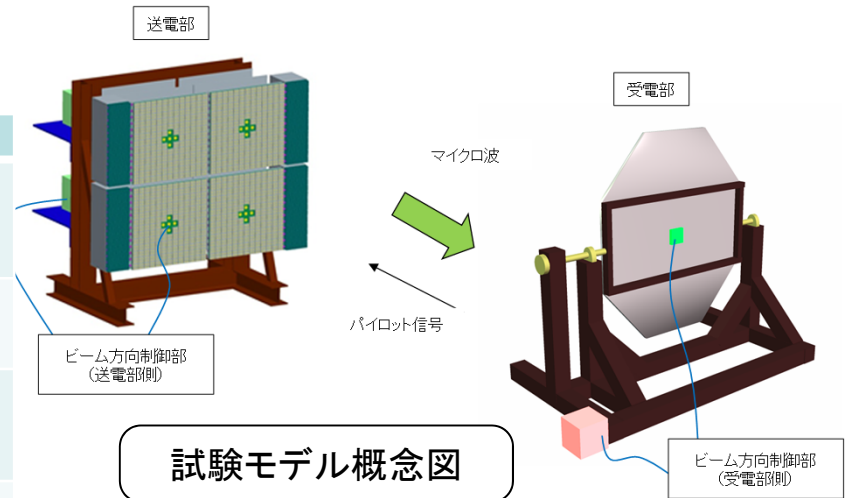
項目	目標・指標	成果	達成度
試験候補地調査	国内における屋内・外の試験候補地調査を行い選定する。また、マイクロ波電力伝送試験実施に必要な課題を抽出してその対応法を見出す。	国内における屋内・外のマイクロ波電力伝送試験候補地調査を行い、要件に適合する試験地を選定した。また、試験実施に係わる課題を抽出し、対処法を考えた。	達成
関連技術動向調査	本研究開発と密接に関連する国内外の研究動向について明らかにする。	国内外のSSPS研究開発動向を調査し、本研究開発との関連などについてまとめた。また、「マイクロ波の植物への影響」に関する研究動向について整理した。	達成
無線送受電スピンオフ技術	成熟度の高い技術を活用して、産業応用を目指した低コスト実証システム(送電出力10kW程度、送電距離500m程度)を試作評価する。また、電力事業者の観点から適用可能性を検討する。	2.45GHz帯で電送距離約500mにおいて約10kWの送電出力実験を行い、制御された条件下での動作を確認した。国内では最長、最大級電力の屋外無線送電実験に成功した。また、電力事業者の観点から、航空障害灯等の電力インフラへの適用可能性を検討した。	達成

目的: 将来の宇宙太陽光発電の実現に向け、エネルギー伝送技術についての地上実証を進める

コンセプト: ●技術的に新しい一歩(世界で初めて)
●軌道上実証実験に技術的につながる試作

マイクロ波電力伝送試験モデルの特徴

項目	将来の発展性・利点
フェーズドアレイアンテナを使用	従来のパラボラアンテナに比べ、将来の宇宙での大型アンテナ構築につながる技術
電力伝送周波数に5.8GHzを使用	従来の2.45GHzに比べてシステムの小型化が可能となり、将来の宇宙への輸送に有利
半導体増幅器を使用	従来のマグネトロン(電子管)方式に比べて薄型化に有利。また低電圧での動作も宇宙での使用に向く
ソフトウェアレトロディレクティブ方式を使用	送受電の周波数が任意に選択可能であり、パイロット信号に変調波や鍵機能を付与することも可能



実証試験の成果

- 1) マイクロ波ビーム方向を任意に制御可能な半導体増幅器を使用したフェーズドアレイアンテナ。キロワット級電力伝送技術で、かつ受電方向からの信号に基づく精密方向制御を組み込んだ世界初の電力送電に成功。
- 2) 半導体増幅器自体にも、窒化ガリウムを基板にしてF級増幅回路技術を採用し、電力付加効率(PAE)で世界最高水準(単体最高70.5%)の素子を適用した送電用サブアレイアンテナを試作(平均PAE60%以上)。
- 3) システムの小型化を指向して送電周波数に5.8GHzを適用し、かつ回路構成を工夫した薄型送電用サブアレイアンテナ。従来実績の約1/10程度の画期的な薄さ(突起部含まず25mm)。
- 4) 窒化ガリウムを採用しRF-DC変換効率80%以上を目標とした素子(ダイオード)の試作評価。世界最高水準の効率。

総合システムの研究開発

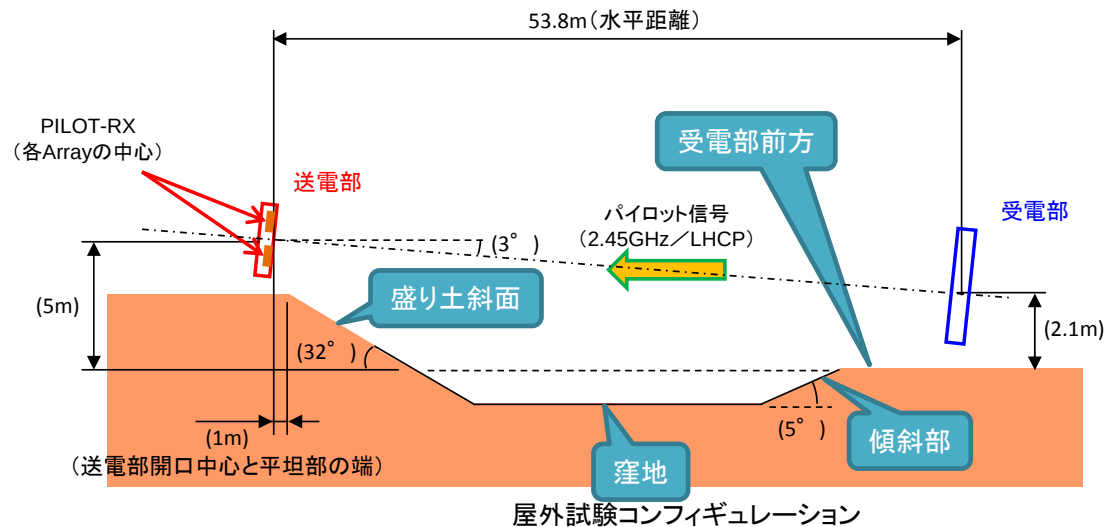
5.8GHz帯でフェーズドアレイアンテナを用いて、キロワット級マイクロ波ビーム制御システムの屋外無線送電としては、世界的に類を見ない実験の成功となった。送電部から約1.8kWを出力し、受電部から約340W平均の利用可能電力の取出しを確認した。



送電部設置状況



受電部状況



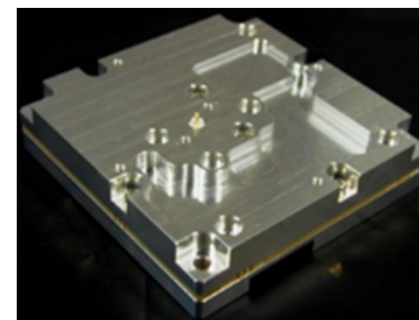
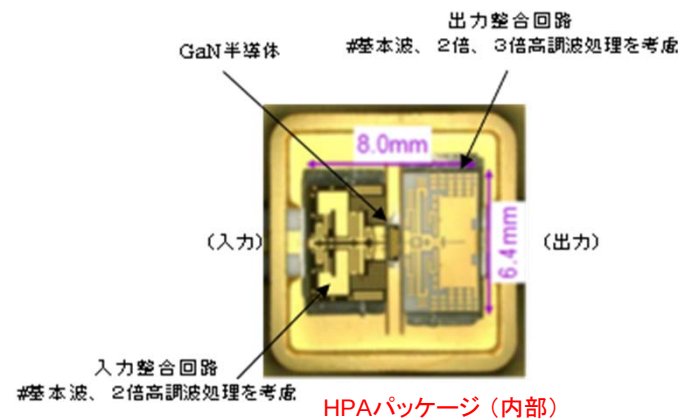
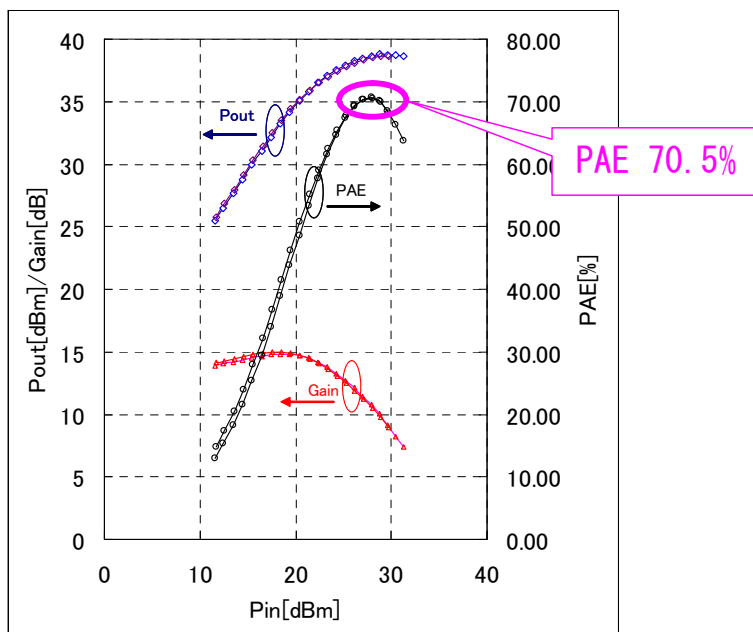
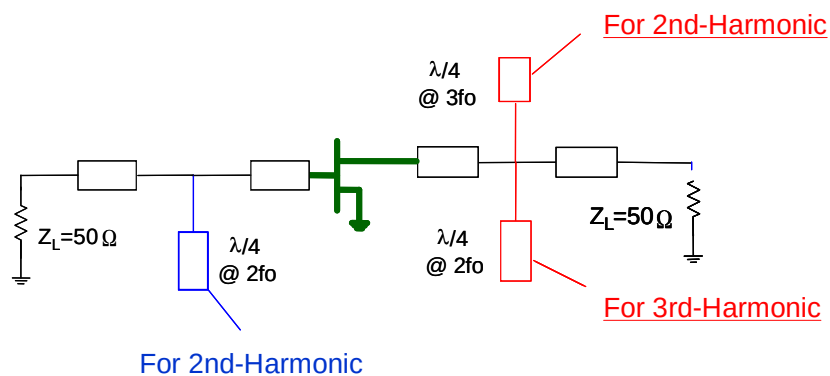
屋外試験コンフィギュレーション



試験セットアップ状況

送電部の小型・軽量・高効率化に向けた研究開発（1／2）

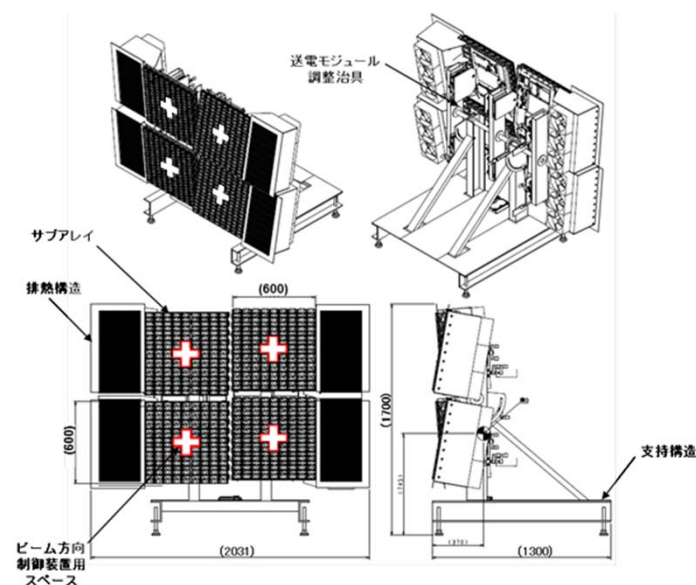
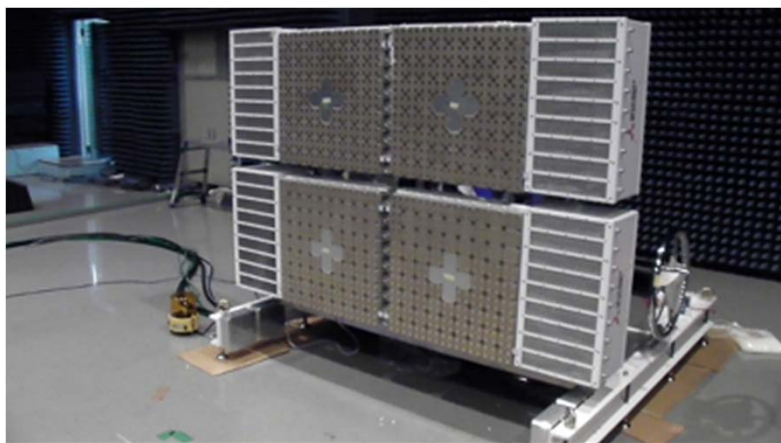
半導体増幅器自体にも、窒化ガリウムを使用してF級増幅回路技術を採用した、電力付加効率で世界最高水準の素子を適用した送電用サブアレイアンテナを開発した。



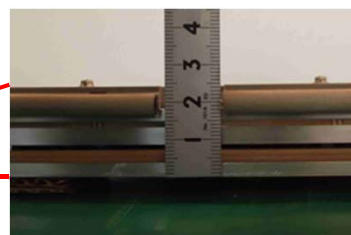
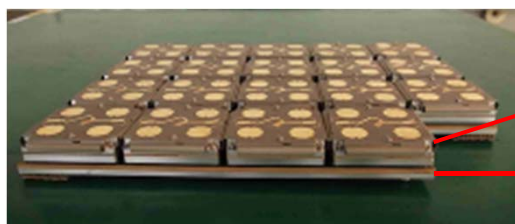
HPAモジュール（外観）

送電部の小型・軽量・高効率化に向けた研究開発（2／2）

システムの小型化を指向して送電周波数に5.8GHzを適用し、かつ回路構成を工夫した薄型送電用サブアレイアンテナを開発し、従来実績の約1/10程度の画期的な薄さを実現した。
4枚の送電モジュール（アンテナ数1216素子）で構成した。



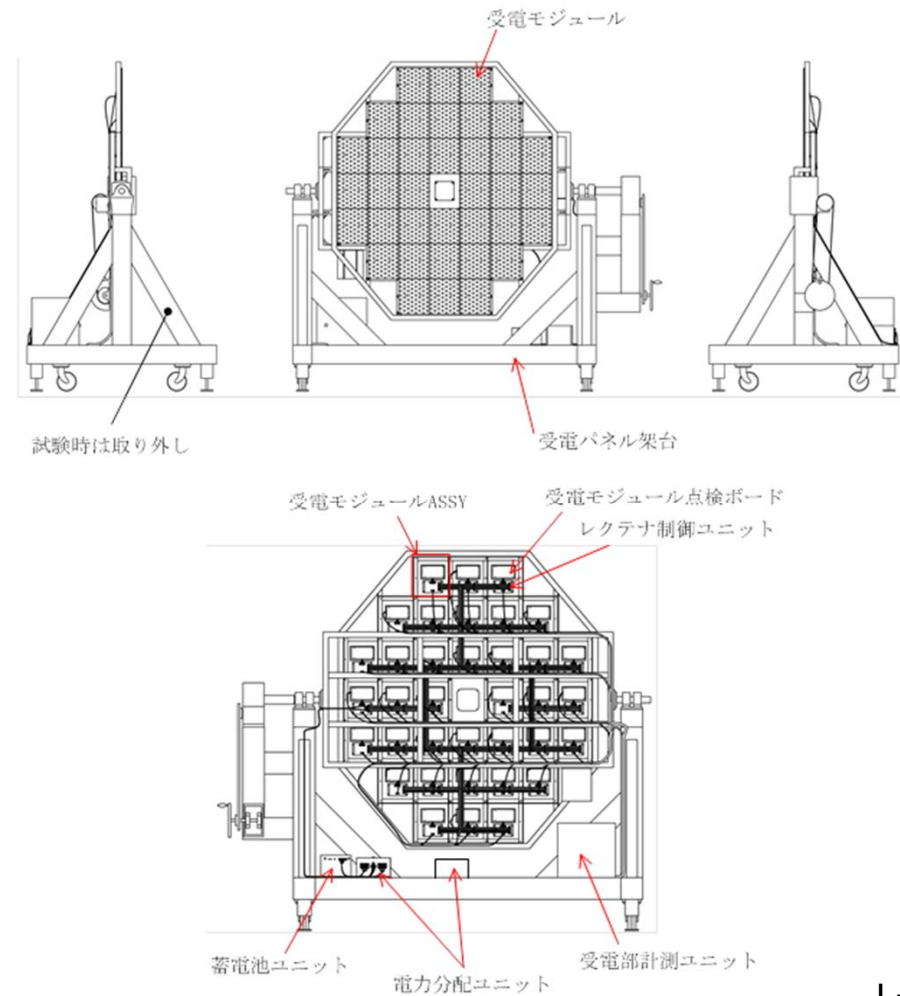
サブアレイ厚さ: 25mm (突起部含まず)



- 4素子サブアレイアンテナ
- マイクロ波増幅器、位相器
- 分配回路

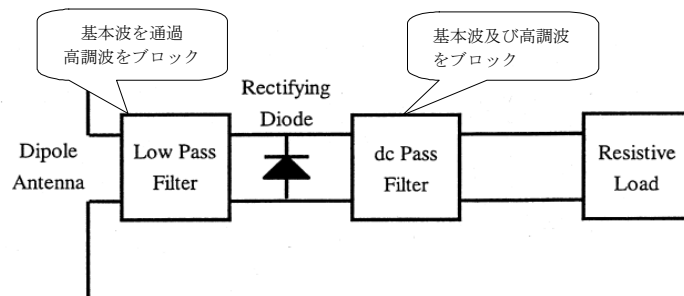
受電部の研究開発

市販のショットキーバリアダイオードを使用し、36個の受電モジュール（アンテナ数2304素子）で構成する、大規模で高効率動作する受電部を開発した。



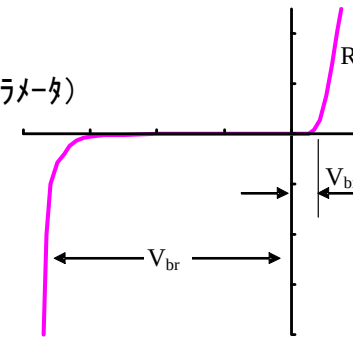
受電部の高効率整流ダイオード開発に向けた研究開発

窒化ガリウム (GaN) を使用した高効率整流素子 (ダイオード) を試作評価して変換効率 71.4% を確認した (5.8GHz 帯 GaN ダイオードで世界最高水準)。
また、今後の性能向上に向けた課題および改善策を抽出した。

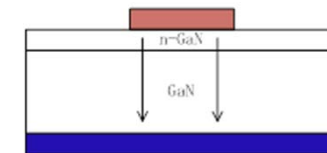


開発方針 (ダイオードパラメータ)

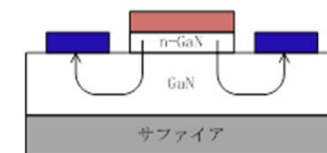
R_s : Low
 C_{jo} : Low
 V_{bi} : Low
 V_{br} : High



縦型ダイオード



横型ダイオード



■ : ショットキー電極 (アノード)

■ : オーミック電極 (カソード)

→ : 電流の流れ

更なる性能向上に向けて

目標効率 (80%) を実現するためのダイオードパラメータは、パラメータごとに実現できることを、試作を通して確認した。

これをダイオードとして実現するためには、次の研究開発が必要となる。

- ・立上り電圧が低いショットキー電極材料の選定と特性把握および特性安定化
- ・損失要因となる抵抗低減のために、低抵抗 GaN 層の厚みを薄くする製造技術

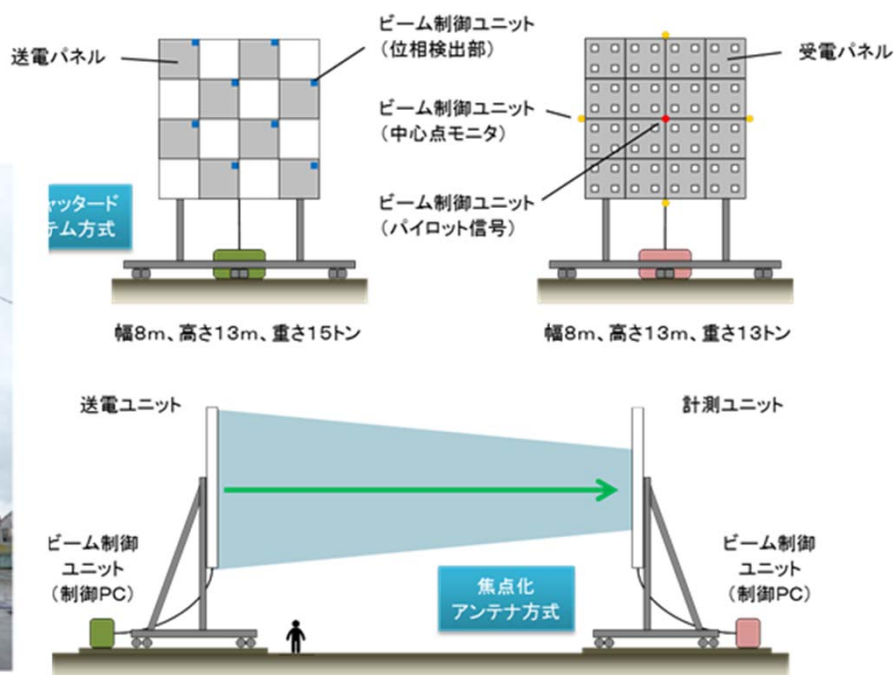
無線送受電スピンオフ技術の研究開発

成熟度の高い技術を活用して、産業応用を目指した低コスト実証システムを試作評価した。2.45GHz帯で電送距離約500mにおいて約10kWの送電出力実験を行い、制御された条件下での動作を確認した。国内では最長、最大級電力の屋外無線送電実験に成功した。

送電ユニット

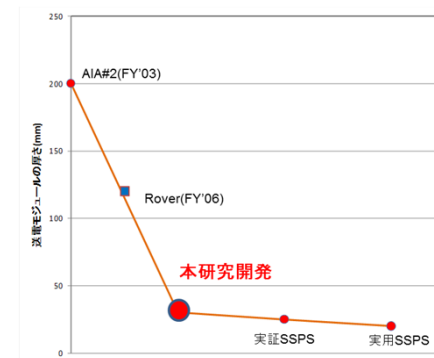
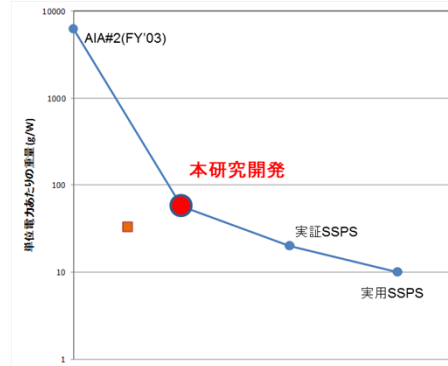


計測ユニット



J. 5.事業化、波及効果(続き)

○送電部は、輸送に大きく影響を与える薄型・軽量化において、商用SSPS電気的コア部分約4mmに対して25mm(サブアレイ厚さ)、同10g/Wに対して約36g/W(サブアレイのみ)である。実用化には更なる高効率化や薄型・軽量化が必要であり、「太陽光発電無線送受電高効率化の研究開発」事業において取り組んでいる。



- 本研究開発で取り組んだマイクロ波半導体増幅器などは携帯電話やマイクロ波通信で使用する増幅器と同列の技術であり、高効率化技術がこの分野に寄与する。
- 高効率受電整流ダイオードについては、電子レンジ内の無用マイクロ波の回収や、空間電波のエネルギーハーベスト機器に必須な回路素子として活用される技術である。
- それらマイクロ波無線電力伝送試験の成功は、新聞等に加えてテレビ番組でも取り上げられ注目された。今年度に入ってから、引き続き新聞取材、ラジオへの電話生出演、雑誌特集記事掲載依頼など注目が続いている。
- 実験後には、外国を含む多方面から問合せがあり、無線によるエネルギー伝送、宇宙太陽光発電に関心を集めた。

技術波及応用の可能性

(電気自動車無線給電応用)

❖ 電気自動車無線給電システムへの応用（有線からの脱却）

- 航続距離の伸張
- 電池の軽量化

- ・ 大電力&高効率化レクテナ技術
- ・ 高効率フェーズドアレイ技術

- ❖ 電気自動車充電インフラの整備
- ❖ 建設機械への応用



電気自動車無線充電システム [京都大]

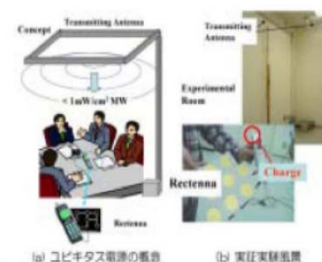
(建物内ユビキタス電源応用)

❖ 建物内無線給電（ユビキタス電源）

- モバイル機器などの充電量を気にしない環境の創生
- 人間の活動空間に電力を供給

- ・ ビーム制御技術
- ・ 高効率フェーズドアレイ技術
- ・ 高効率化レクテナ技術

- ❖ 但し、送電電力と安全性を見極める必要がある。



ユビキタス電源のイメージ [京都大]

SSPSからのマイクロ波を拡散させ、離散的に存在する不特定多数のレクテナ(省電力で駆動するセンサー、携行型省電力電子機器などに取付け)により必要なだけ電力を取得することができる。

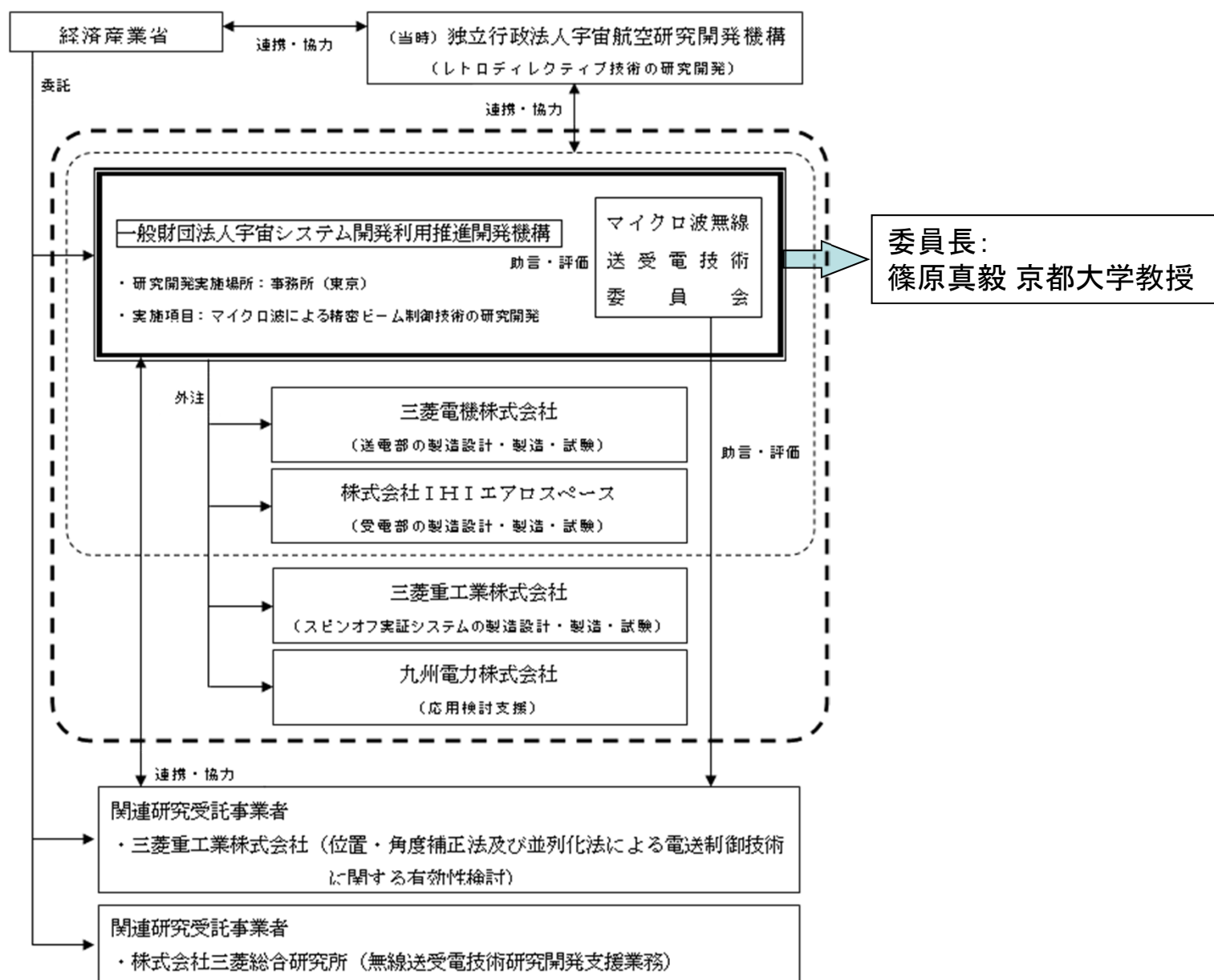
(都市部で)

(郊外で)

(災害緊急時に)



2. J. 6. 研究開発マネジメント・体制等



J. 7. 前回の中間評価(平成23年度)の結果

中間評価コメント

- 事業(プロジェクト)によっては、既に確立されつつある技術の実用化と長期的な観点から技術レベルの向上を図るものがある。両者とも全体としての目標と、それを具体化するための個別要素技術の達成目標を立てて事業化してゆくのが望ましい。
(全事業共通)
- 目標設定が必要によって決定されることが重要であり、達成可能見込みから判断して目標設定が付けられることがないかを注視する必要がある。(全事業共通)

提言に対する対処方針

- 全体目標とそれを達成するための個別要素技術の目標を立てて実施しており、引き続き事業化に向けて取り組んでまいりたい。なお、本事業においては、センサの開発及び安定的な運用を図ることを全体目標としており、また、それぞれの構成機器等においても個別に評価指標を設定している。
- 目標を設定する際には、事業者側からのみならず、利用者の視点も踏まえた目標となるよう努めているところである。なお、本事業においては、別途実施している、石油資源遠隔探知技術の研究開発において利用事業を実施しており、関係者間の情報共有等も図っているところである。

J. 8. 評価

J. 8－1. 評価検討会

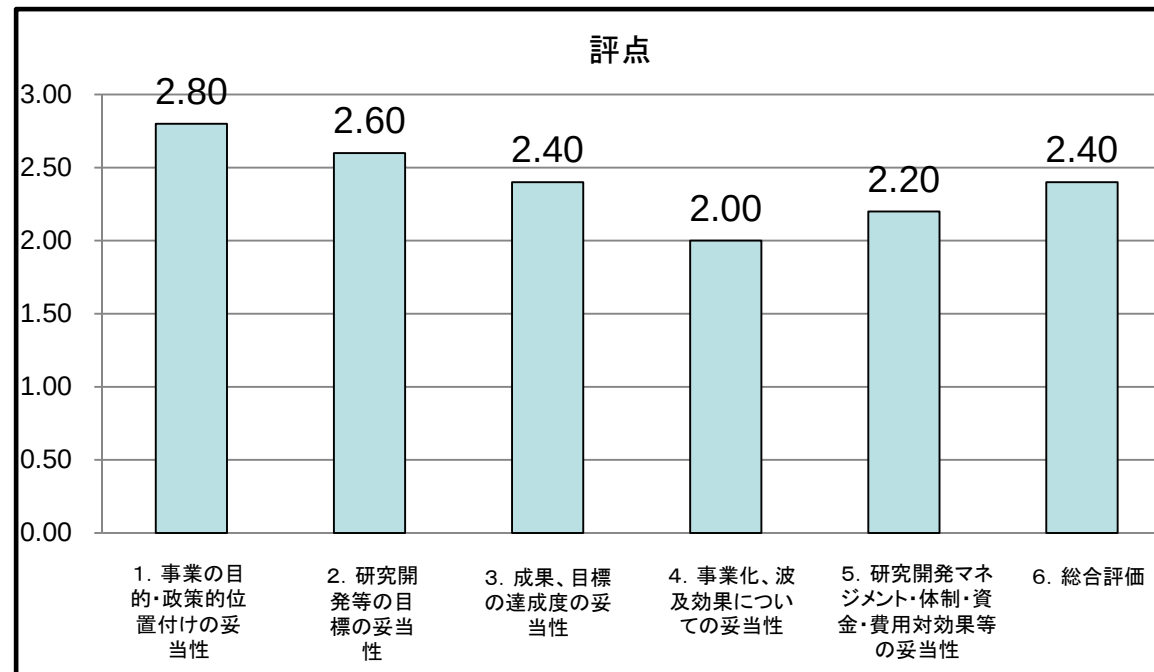
評価検討会名称	宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会	
評価検討会委員	座長	建石 隆太郎 国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター長 教授
	委員	澤谷 邦男 国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部 レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長 中山 裕則 学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授 橋本 英一 元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長 三宅 弘晃 学校法人五島育英会 東京都市大学 工学部機械システム工学科 准教授

J. 8－2. 総合評価(コメント)

- レトロディレクティブ方式を用いたビーム制御は、宇宙太陽光発電の実現に向けて有効な技術であることは従来から指摘されていたが、これを間接的ではあるが実証した点は評価できる。送電部を半導体で構成する技術や高効率受電部の開発など、所期の目標を達成している点も評価できる。
- 産業応用を目指した2.45GHz帯での電力伝送実験により各種検証データを取得できたことは、今後の大電力無線伝送への可能性を示したものであると言える。
- 本事業内で進められた要素技術開発のうちGaN素子の開発について、5.8GHz帯で70%を超える電力付加効率を達成できことは評価できる。今後、送信部については、SSPSの実用化に要求される性能の実現に向け、さらなる薄型化・軽量化・大電力化が必要である。
- また、本実証実験における最終効率は20%弱であり、実用化に向けたロードマップを描き、システム全体としての効率を高めていくことが今後の課題である。その際、宇宙太陽光発電システムの実現にはさらなる年月が必要となるため、研究開発を継続するためにも各種技術をスピンオフしていくことが重要である。
- 将来的には、安全性を担保するデータの取得も含め、広く理解を得るための積極的な広報をしていくことも考えてほしい。

J. 8－3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 実施された事業は、優れていた。

2点: 実施された事業は、良かった。

1点: 実施された事業は、成果等が今一步のところがあつた。

0点: 実施された事業は、成果等が極めて不十分であつた。

K 太陽光発電無線送受電高効率化の 研究開発 (中間評価)

製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

K. 1. 太陽光発電無線送受電高効率化の研究開発 (プロジェクト)の概要

概 要	本研究開発は、将来の新エネルギーとしての宇宙太陽光発電システム(SSPS: Space Solar Power System)の実現に向け、その中核的技術であるマイクロ波無線送受電の効率化に係る研究開発を行うことにより、当該技術の高度化を目標とする。
実施期間	平成26年度～平成30年度（5年間）
予算総額	2.5億円(委託事業) (平成26年度:2.5億円)
実 施 者	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

K. 2.プロジェクトの目的・政策的位置付け

事業の目的

- エネルギーの安定供給の確保、地球環境問題等への対応の観点から、石油代替エネルギーの導入拡大を図ることが重要である。
- 宇宙太陽光発電システムは、発電時の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・天候に左右されることなく発電が可能となり、ベースロードとしての活用が期待されている。
- 本事業では、将来の新エネルギーシステムとして期待される宇宙太陽光発電システムの中核技術であるマイクロ波無線送受電技術について、これまでの取組の成果を踏まえ、送受電の更なる高効率化と最先端の半導体技術による大幅な薄型・軽量化に取り組むことを目的とする。

政策的位置づけ

宇宙基本計画やエネルギー基本計画において、将来の新エネルギーとして、宇宙太陽光発電システムの技術開発の必要性が位置づけられている。

○宇宙基本計画(平成27年1月宇宙開発戦略本部決定)抜粋

エネルギー、気候変動、環境等の人類が直面する地球規模課題の解決の可能性を秘めた「宇宙太陽光発電」を始め、宇宙の潜在力を活用して地上の生活を豊かにし、活力ある未来の創造につながる取組に関する研究を推進する。

○エネルギー基本計画(平成26年4月閣議決定)抜粋

宇宙太陽光発電システム(SSPS)の宇宙での実証に向けた基盤技術の開発などの将来の革新的なエネルギーに関する中長期的な技術開発については、これらのエネルギー供給源としての位置付けや経済合理性等を総合的かつ不断に評価しつつ、技術開発を含めて必要な取組を行う。

K. 3.目標

全体の目標(中間評価時点)

技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
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	ロードマップの作成に当たり、必要となる技術項目を抽出する。 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、本研究開発における目標を設定する。	宇宙太陽光発電システムの研究開発は長期に及ぶ取組となることから、実用化に向けた研究開発の見通しをロードマップとしてまとめる必要がある。
マイクロ波無線送受電システムの更なる高効率化及び小型・軽量化技術	送電系の半導体増幅器向け素子の高効率化に係わる課題を抽出し、対処方針を明確にする。 大幅な薄型・軽量化を可能とするHySIC技術の実現性を明確にする。	現在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。また、宇宙太陽光発電システム構築の低コスト化に当たっては送受電システムの薄型・軽量化が必要不可欠である。
マイクロ波無線送受電技術の産業応用調査	研究開発する最先端の無線送受電技術について、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する。	宇宙太陽光発電システムの実現に向け研究開発している最先端の無線送受電技術は、産業応用の可能性が期待できるため、産業応用を促進する。

K. 4.成果、目標の達成度

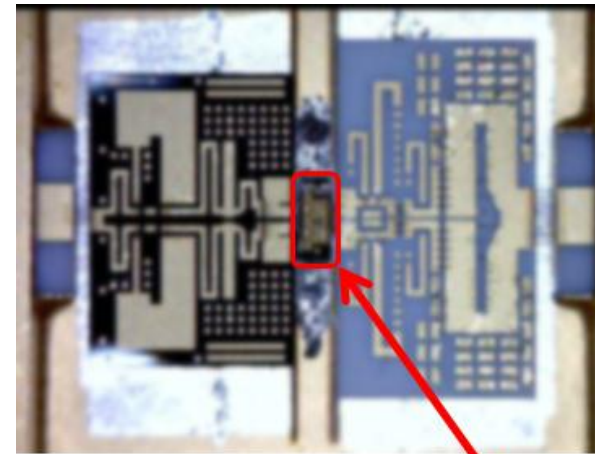
全体の目標(中間評価時点)

技術	目標・指標 (中間評価時点)	成 果 (中間評価時点)	達成度
宇宙太陽光発電システムのロードマップの作成	ロードマップの作成に当たり、必要となる技術項目を抽出する。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、本研究開発における研究開発の目標を設定する。	本研究開発後のステップに必要な技術項目を抽出した。本研究開発における研究開発の目標を設定した。	達成
マイクロ波無線送受電システムの基盤技術開発	送電系の半導体増幅器向け素子の高効率化に係わる課題を抽出し、対処方針を明確にする。大幅な薄型・軽量化を可能とするHySIC技術の実現性を明確にする。	高効率化に係わる課題を抽出し、短ゲート化HPAの試作を実施し、電力付加効率向上への効果を確認し、対処方針を明確にした。薄型・軽量化のためのHySIC実現性を明確にした。	達成
マイクロ波無線送受電技術の産業応用調査	宇宙太陽光発電システム以外でのマイクロ波無線送受電技術の応用可能性について調査する。調査結果を踏まえて、可能性の高い産業領域を整理・分析する。	宇宙太陽光発電システム以外でのマイクロ波無線送受電技術の応用可能性について調査した。調査結果を踏まえて、可能性の高い産業領域を整理・分析した。	達成

個別要素技術の成果

(1) 送電系高効率化

- HPA素子の利得(G^{FET})は理論的にはゲート長に反比例する。トランジスタプロセスの改良によりゲート長 $0.15\mu\text{m}$ のHPA素子を試作し、従来HPA素子(ゲート長 $0.7\mu\text{m}$)と比較した。
- 本測定にて、HPAでのPAE 76.8%という最先端の性能が得られており、短ゲート化による効果を確認することができた。
- 平成28年度にPAE 80%達成の目標が得られた。



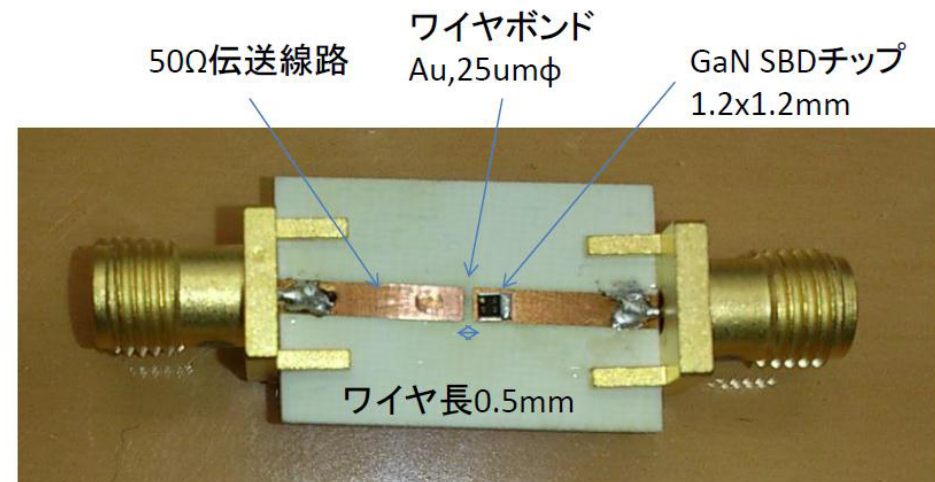
0.15 μm GaNチップ

ゲート長 $0.15\mu\text{m}$ HPA素子を用いたHPA

個別要素技術の成果

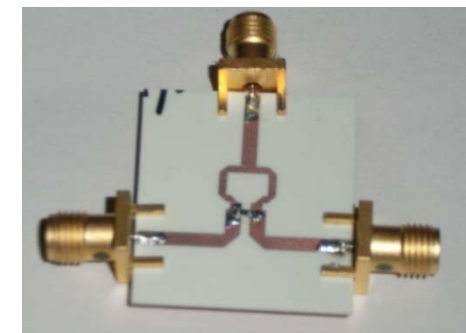
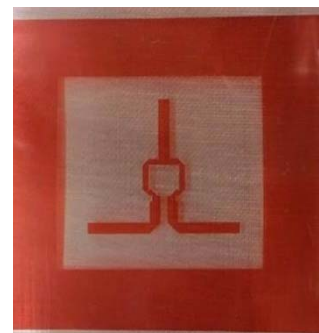
(2) 薄型・軽量化

- 整流デバイス特性評価治具の作製と評価を行い、ダイオードの密着性や電圧印加法など、基礎的な測定ノウハウを確立した。



整流ダイオードと特性測定用検波回路

- 最適負荷インピーダンスを実現するために、RF受電電力の合成が必要となるが、これについて誘電体基板による電力合成器の試作を行い、HySICに向けた基本設計データを取得した。



RF電力合成の回路作製用マスクと誘電体基板を用いたC帯電力合成器

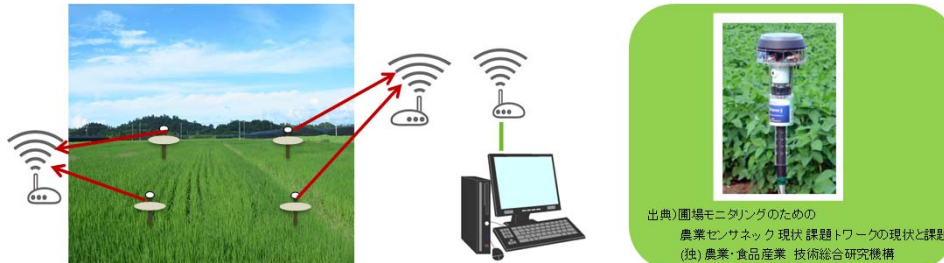
5.事業化、波及効果

- 宇宙太陽光発電システムの政策的な目標は石油代替エネルギーとしての導入、2050年までの温室効果ガス排出量半減などであり、事業化計画は長期的なものである。本研究開発成果が次なる宇宙実証ステップに向けての技術インプットとなり、事業化に向けての一里塚であるとの位置づけである。
- 本研究開発は、宇宙太陽光発電衛星に必要な技術分野のうち送受電（高効率化）及び輸送（薄型・軽量化）にかかる技術に貢献することを目的に実施されている。開発されるHPAによれば送電のエネルギー効率が大幅に向上するため、送電の際に発生する熱量が減少し、排熱の為に必要となる構造等を大幅に削減することができる。開発されるHySICによれば、送電システムが一段と薄型・軽量化され、将来SSPSの商用化で想定する打ち上げ質量に近づけることができる。
- 本研究開発を産業応用することによりワイヤレスセンサの送受電装置が薄型・軽量化、高効率化すると、電源部設置に必要な容積の低減、架台の簡略化による設置コストの低減がなされ、よりワイヤレスセンサの活用が広がることが期待できる。電力伝送システムの受電装置にHySICを利用することにより、受電装置の小型軽量化ができ、搭載制約・持ち運び時の不便さが緩和される。

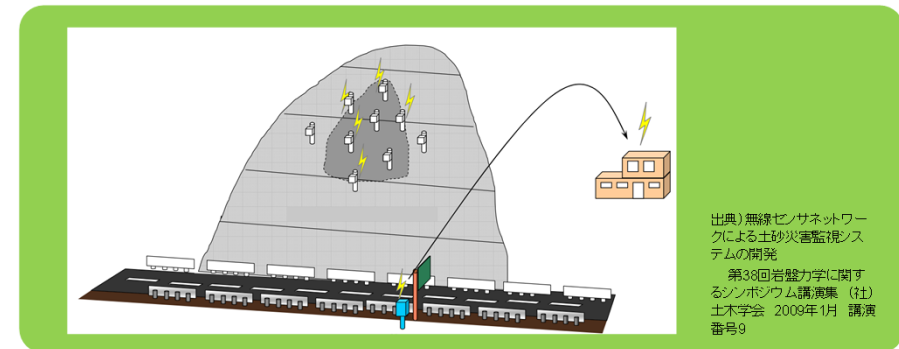
波及効果の例

(1) ワイヤレスセンサ

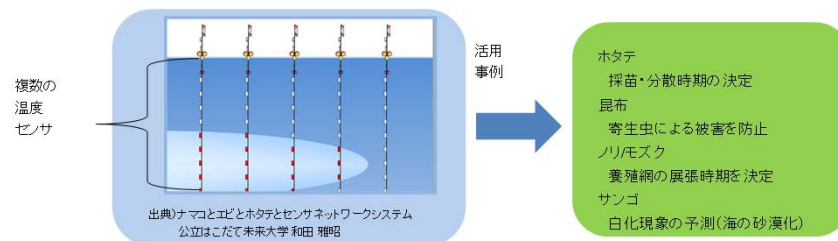
a. 農業分野(農場モニタリング)



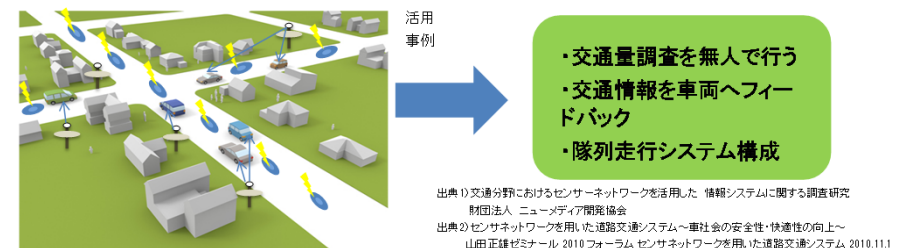
b. 防災分野(土砂災害監視システム)



c. 漁業分野(養殖／水産資源管理システム)



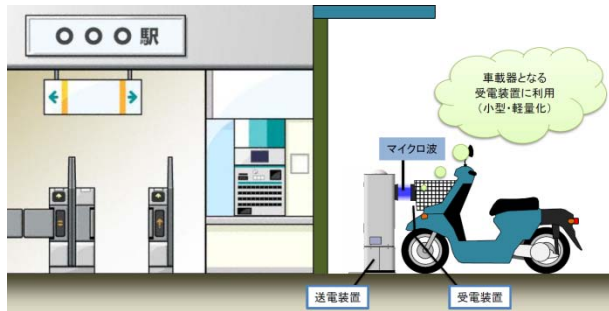
d. 交通(ITS)分野(交通情報システム)



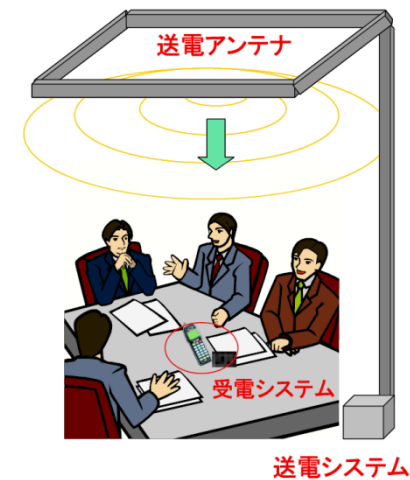
波及効果の例

(2) 電力伝送

a. 農業分野(農場モニタリング)



b. ユビキタス電源による無線電力空間 (京大大学生存圏研究所)



(3) 衛星通信用機器

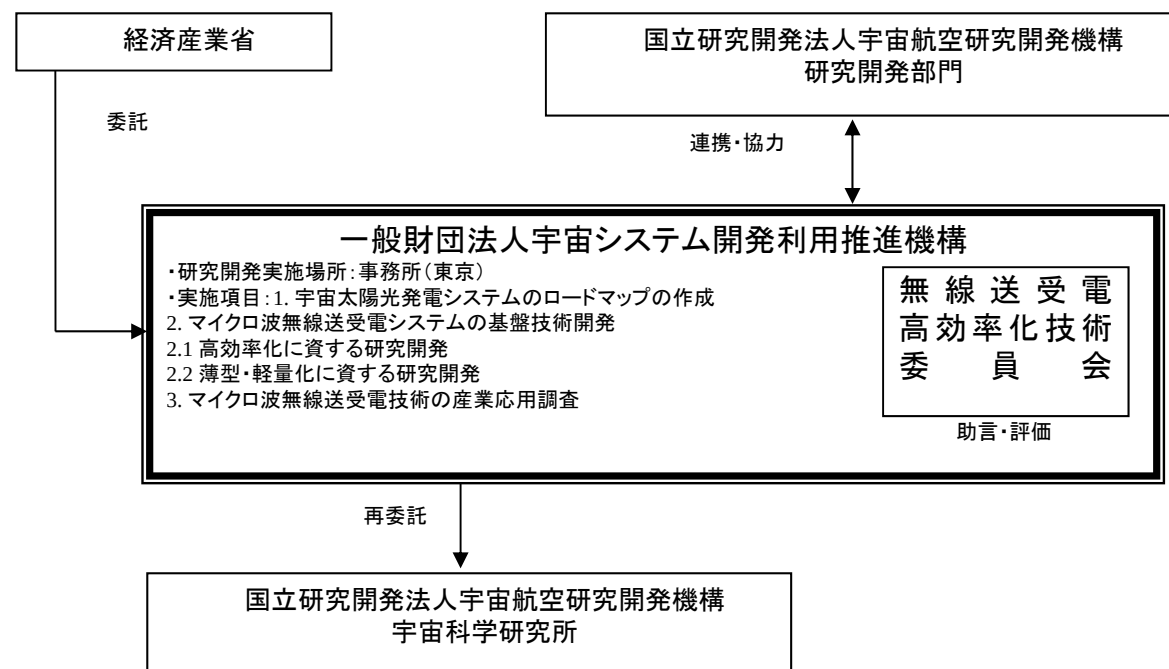


衛星搭載用GaN C-band SSPA
(提供: 三菱電機株式会社)

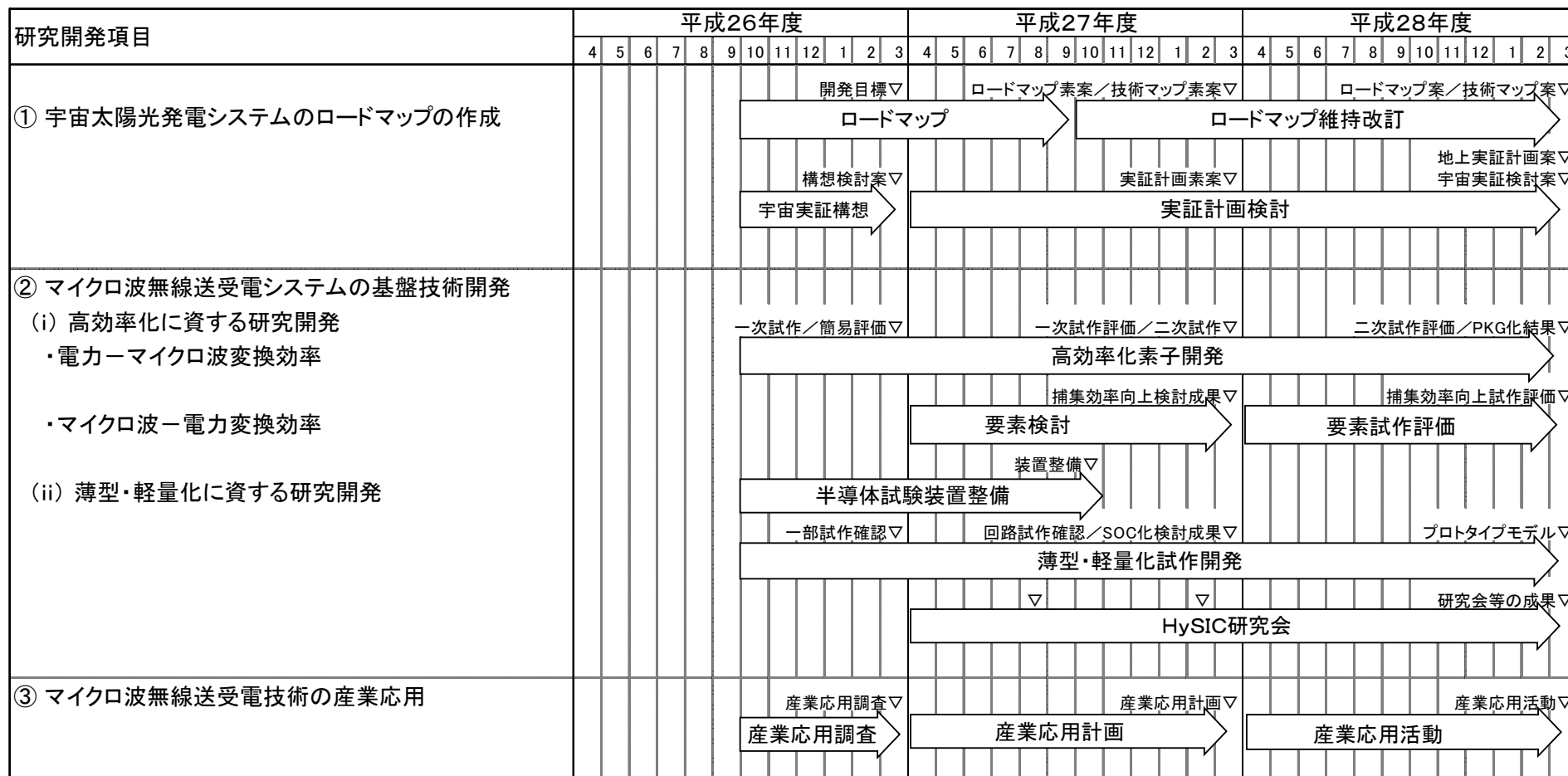
K. 6. 研究開発マネジメント・体制等

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。

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。



(参考) 今後の研究開発スケジュール



K. 7. 事前評価(平成25年度)の結果

事前評価コメント

- マイクロ波による送電の実用においては、人体や通信、その他のシステムへの影響を与える可能性も考えられることから、マイクロ波の利用を安全にコントロールするという視点をしっかり入れ、安全性の確立について一段深めて考慮しておくべき。
- SSPSについては、宇宙構造物としての建造、安全な利用、管理について課題が多いものと思われるが、無線送受電技術については、他の民生用途への応用も考えられることから、多用途転用・応用の意義をしっかりと確認すべき。

提言に対する対処方針

- 地上の受電部の内部には人が入れないように管理を行い、その外のエリアでは、人体の安全性に問題はないと考えられている基準値以下になるように設計する。再放射による通信、その他のシステムへの影響を防ぐために、本事業において、マイクロ波の再放射抑制技術の研究開発を実施する。
- 無線送受電技術の多用途応用については、平成24年度補正予算事業において、九州電力等が離島向け無線送電システムの実現に向けた実証試験を実施中である。また、本技術は航空標識灯や災害現場への電力供給、洋上風力発電からの送電、電気自動車や建設機械の給電等にも応用できると考えられており、今後、設備の開発の進展に伴う、更なる応用に向けた参加者の拡大等を検討していきたい。

K. 8. 評価

K. 8－1. 評価検討会

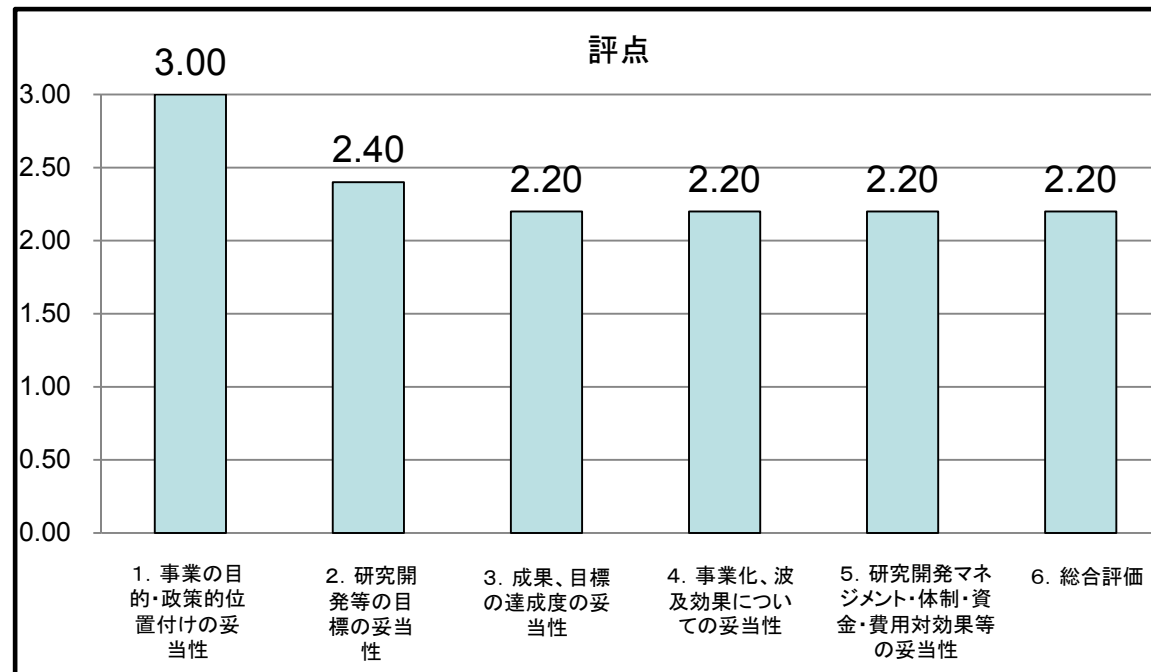
評価検討会名称	宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会	
評価検討会委員	座長	建石 隆太郎 国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター長 教授
	委員	澤谷 邦男 国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部 レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長 中山 裕則 学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授 橋本 英一 元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長 三宅 弘晃 学校法人五島育英会 東京都市大学 工学部機械システム工学科 准教授

K. 8－2. 総合評価(コメント)

- 高出力増幅器(HPA)を試作、世界最高水準を達成したほか、整流デバイスや電力合成器など周辺機器の基本設計を完了したことで、今後の技術開発に期待が持てる。また、無線送受電技術は地上産業への波及効果も期待できる。
- 一方で、これまでの研究開発で実現できた水準と将来の商用SSPSに要求される効率及び送電部の厚さ、重量にはまだ大きな開きがある。現時点での達成した限界値を踏まえ、中途段階、例えば5～6年の間に実現を目指す数値目標も示して研究開発を進めるべきと考えられる。
- なお、他分野での応用も将来の宇宙太陽光システムの開発に資する知見の拡大に寄与すると考えられることから、本事業で開発中の無線送受電技術については、産業応用に向けた理解の増進等の取組を進めるべきである。

K. 8－3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト中間評価において、評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

K. 9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- 宇宙太陽光発電システム(SSPS)の技術開発については、地上の電力伝送だけに終わることがないように、その実現に向けて、打ち上げコストも含めた検討を深めていくべきである。
- SSPSの実現に向けて、送受電関連だけでなく、それを支える高電圧や絶縁などの基盤技術、電波伝送経路にあたる空間における環境との相互作用、生体への影響なども含めて研究開発を進め、社会として進めていける土壌を育てていく必要がある。

提言に対する対処方針

- 宇宙太陽光発電システムの研究開発は、長期に及ぶ取組となることから来年度に中長期の研究開発のロードマップを策定予定であり、その際、打上コストの視点も含めて検討してまいりたい。
- ご指摘の視点は重要な課題と認識しており、マイクロ波による動植物や大気、電子機器への影響について、過去にも検討を行ったところ。高電圧への対応技術や周囲の環境への影響等の検討は、今後の送受電技術の研究開発の進捗に応じて、適切な時期の実施を検討してまいりたい。

L 空中発射システムの研究開発 (終了時評価)

製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

L. 1.空中発射システムの研究開発概要

概 要	将来の小型衛星の需要増大、普及促進に寄与する、空中発射システムの構築及び運用に不可欠な、航空機からのロケット分離に係わる技術や、将来の事業化を見据えた低コスト化に係わる基盤技術の開発を行う。また、民間打ち上げサービス事業展開に必要な法規制等に係わる調査を行う。 ①空中発射システム運用構想、②ロケット搭載/分離、③運用管制技術、④小型搭載電子機器技術、⑤法規制等の調査
実施期間	平成21年度～平成26年度（6年間）
予算総額	8.4億円（委託事業） （平成23年度：1.5億円 平成24年度：1.5億円 平成25年度：3.2億円）
実 施 者	一般財団法人 宇宙システム開発利用推進機構（略称：J-spacesystems）

L. 2.事業の目的・政策的位置付け

事業の目的

- 近年、超小型周回衛星群による画像、インターネット等のサービス展開計画が進んでおり、また、宇宙新興国においては、災害対策の一環として地球観測衛星等の打上げ需要が拡大しており、今後ますます小型衛星等の打上げビジネスが活発化していくことが予想される。
- 現在の打ち上げ市場には超小型周回衛星に対応する小型ロケットが存在していないことから、低コスト、高効率かつ機動的に小型衛星を打上げることができる先進的打上げシステムを確立することにより、海外衛星打上げ市場における優位性を獲得し、小型衛星の打上げビジネスに係る国際市場の獲得を目指す。

政策的位置づけ

新成長戦略や産業構造ビジョン、宇宙基本計画において、小型衛星の海外市場獲得、小型衛星の打上げ需要増加に伴う打上げ手段の確保等を目的として、低コスト、高効率かつ自由度の高い打上げ手段である空中発射システムの確立は、非常に重要な位置づけになっている。

小型衛星の打上げ需要増加
小型衛星の海外市場獲得

低コスト、高効率、自由度の
高い打上げ手段

空中発射システムの研究開発

空中発射システムの研究開発目的

小型衛星の需要が拡大していく中で、従来より低コスト、高効率かつ機動的に小型衛星を打上げることができる先進的打上げシステムを確立することにより、海外衛星打上げ市場における優位性を獲得し、小型衛星の打上げビジネスに係る国際市場の獲得を目指す。

類似事業との比較



<空中発射>

開発主体: 経済産業省

打上価格: 10億円以下を目標

打上射場: 空中

打上能力: 太陽同期(高度500km) 150kg



<イプシロン基本形>

開発主体: 文部科学省

打上価格: 38億円以下を目標

打上射場: 内之浦

打上能力: 太陽同期(高度500km) 450kg

L. 3.目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
1. 空中発射システム運用構想	空中発射による衛星打ち上げ及び運用の構想検討を行い、技術的成立性があり、将来の打ち上げ事業展開に資する低コストな空中発射システム運用構想を策定する。	将来、需要が見込まれる小型衛星の打ち上げが可能な打ち上げシステムとする。 我が国には空中発射システムの開発実績がないことから、空中発射システムの運用に必要な構成システムを明らかにし、その技術的課題を抽出する。
2. ロケット搭載/分離技術	空中発射システムに不可欠な、航空機にロケットを搭載する技術、高々度飛行中の航空機からロケットを安全に分離する技術、分離されたロケットの正常な飛行が可能なロケット点火のための姿勢確保に係わる技術を確認する。 また、投下技術の実証に必要な投下システムの設計、投下シーケンス及び投下試験計画について安全審査を含む詳細設計審査を終了させる。	飛行中の航空機からのロケット投下は、通常の物量投下の制約を遙かに超えた投下高度、大型重量物となることから、ロケットを搭載した航空機の飛行、ロケットの投下、ロケットの点火等から航空機及び乗員の安全が確保できる投下システムの設計、投下手順が求められる。 また、分離されたロケットの点火時の姿勢が衛星打ち上げの成否や分離した航空機の安全確保に繋がることから、分離後のロケットの姿勢を確保する必要がある。
3. 運用管制技術	空中発射システムのメリットを最大限に引き出すとともに、将来の打ち上げ事業展開に不可欠な低コスト運用のため、地球局に依存しない運用管制として、ロケットの自律飛行と商用衛星を利用した飛行管制技術の検討を行い、技術課題を抽出し、対処方法を明らかにする。	空中発射のメリットは、打ち上げ効率の向上のみならず、打ち上げ場所、飛行経路の自由度が高いことにある。そのために、現在は地上の地球局から連続して飛翔体を追跡する打上げ管制を行っているが、地球局を必要とせず、自由に打上げ場所、飛行経路を設定できる管制方式が必要である。
4. 法規制等調査	空中発射システムの実現に係わる、現行の国内法規制等の制約を整理する。 また、諸外国における民間打ち上げ事業展開に係わる法規制の洗い出しを行う。	宇宙活動の展開には、宇宙空間とその利用に関する国際法規則(宇宙法)の順守が必要であるが、我が国は宇宙法の批准国で有るにもかかわらず、国内法の整備が遅れており、民間宇宙活動の制約となっている。
5. 小型搭載電子機器技術	ロケット搭載電子機器の小型、軽量、低コストに必要な方策を明らかにする。	我が国のロケット開発が、短期間でのシステム開発と開発経費の削減に力点が置かれていたことから、諸外国と比較し電子機器の小型/軽量化等の基盤技術において、大きく後れを取っている。特に小型ロケットにおいては、打上能力に大きな影響を与えることから、早急な対応が必要である。

空中発射システムの方式

航空機に衛星を搭載したロケットを積載し、安全な公海上の高々度から分離
航空機の退避後、ロケットに点火し衛星を打ち上げ

超音速ズームフライト方式

ロケット分離

- ・高度: 約15km
- ・速度: 約Mach 1.5



メリット

- ・射場不要
- ・安全性向上(公海上打ち上げ)
- ・打ち上げ場所の自由度向上
- ・打ち上げ効率向上(高々度打ち上げ)

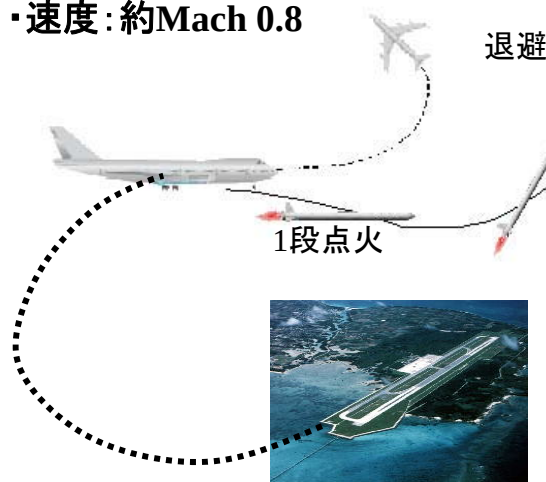
デメリット

- ・航空機の搭載質量、形状制限
- ・航空法による爆発物の搭載禁止

亜音速水平分離方式

ロケット分離

- ・高度: 約12km
- ・速度: 約Mach 0.8



ロケット/衛星整備

空中投下方式 航空機胴内収納

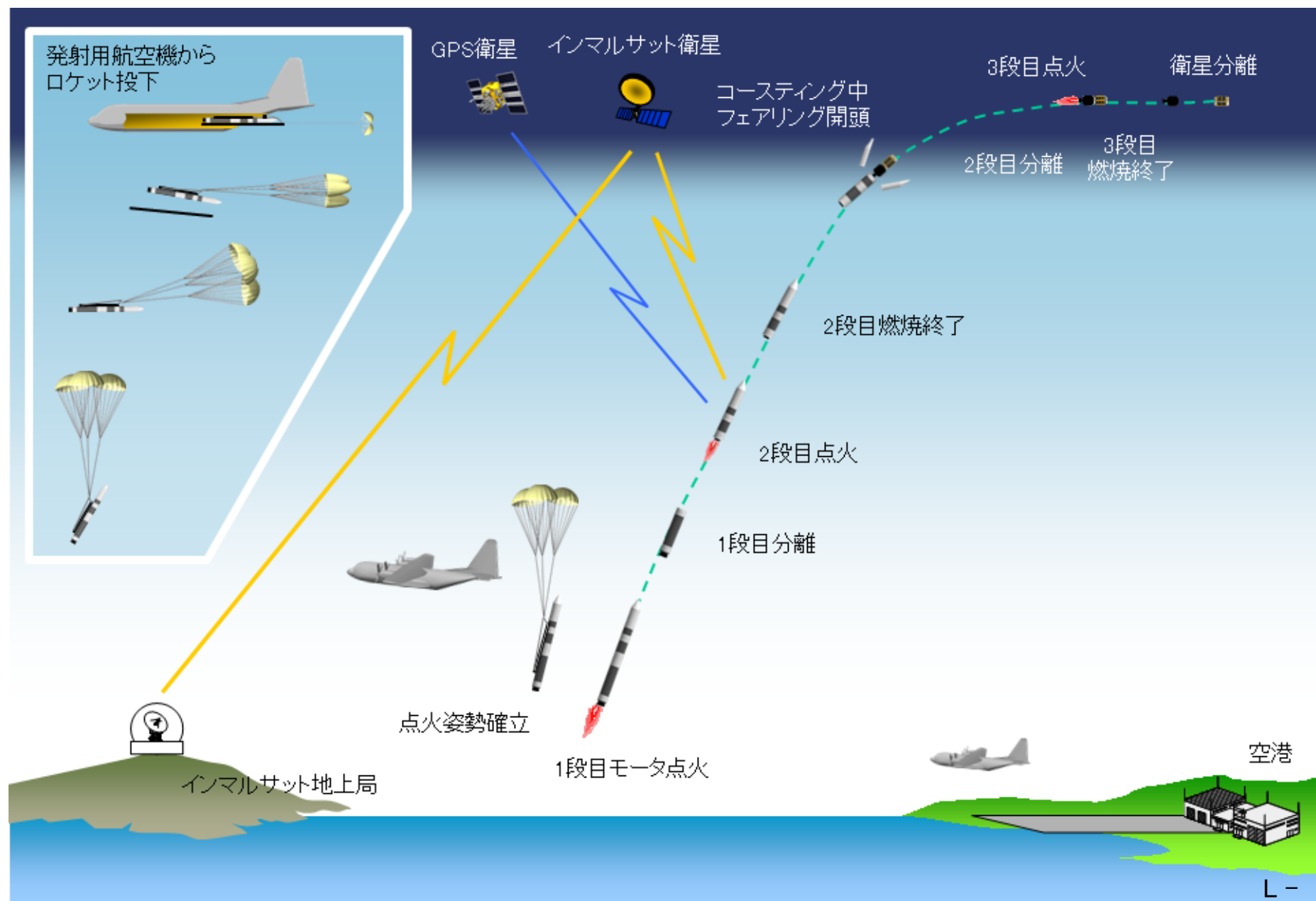
ロケット分離

- ・高度: <10km
- ・速度: ≥ 0

L. 4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
1. 空中発射システム運用構想	空中発射による衛星打ち上げ及び運用の構想検討を行い、技術的成立性があり、将来の打ち上げ事業展開に資する低コストな空中発射システム運用構想を策定する。	打上能力150kg（高度500km極軌道）の空中発射システムとして、輸送機を使用した投下方式、自律飛行、衛星経由の飛行管制方式など、将来の衛星打ち上げ市場参入を目指した、整合性のある空中発射システム運用構想を策定し、開発課題を明らかにすることができた。	達成
2. ロケット搭載/分離技術	空中発射システムに不可欠な、航空機にロケットを搭載する技術、高々度飛行中の航空機からロケットを安全に分離する技術、分離されたロケットの正常な飛行が可能なロケット点火のための姿勢確保に係わる技術を確認する。 また、投下技術の実証に必要な投下システムの設計、投下シーケンス及び投下試験計画について安全審査を含む詳細設計審査を終了させる。	将来の民間による商業打ち上げ市場参入を図るために、C-130輸送機を使用したPDS方式を選定した。本方式に基づいた、打上能力解析において、150kg以上の打上能力が達成できることを確認した。 また、技術の実証を行う、ダミーロケットを使用した高空落下試験の試験計画を策定した。 本項目の検討に当たっては、米国の国際武器取引規則(ITAR: International Traffic in Arms Regulations)に基づき、米国国務省の許可を受け、必要な情報の提供受けるとともに、投下システムの安全審査を受け問題ないことが確認された。	達成
3. 運用管制技術	空中発射システムのメリットを最大限に引き出すとともに、将来の打ち上げ事業展開に不可欠な低コスト運用のため、地球局に依存しない運用管制として、ロケットの自律飛行と商用衛星を利用した飛行管制技術の検討を行い、技術課題を抽出し、対処方法を明らかにする。	自律飛行のためのGPS/INS複合航法システムについて、技術課題を抽出し対応策を明らかにすることができた。 また、ロケットの状態監視及び指令破壊信号の創出を可能とする衛星経由の通信システムとして、インマルサット社が開発中の低軌道周回衛星用の通信端末をロケット用に改修することとして検討行、改修に係わる技術課題を抽出し対応策を明らかにすることができた。	達成
4. 法規制調査	空中発射システムの実現に係わる、現行国内法規制等の制約を整理する。 また、諸外国における民間打ち上げ事業展開に係わる法規制の洗い出しを行う。	空中発射システムの運用を航空法での対応で実施する場合の課題を明らかにすることができた。 また、民間打ち上げライセンスに係わる米国の状況等を明らかにすることができた。	達成
5. 小型搭載電子機器技術	ロケット搭載電子機器の小型、軽量、低コストに必要な方策を明らかにする。	アビオニクス的小型軽量化として、搭載電子機器の統廃合、機体ハーネス質量の軽量化のため機器間にシリアル通信の適用、電力制御装置の小型軽量化方策を示した。 また、投下したロケットの点火方法の一つとして、無線による点火方式の可能性を示した。	達成

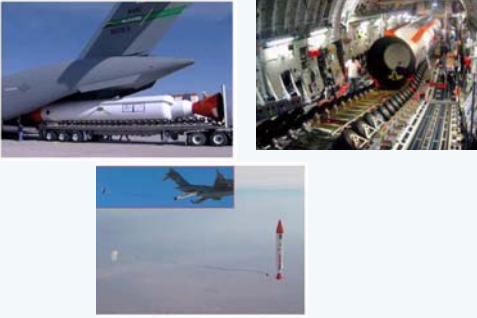
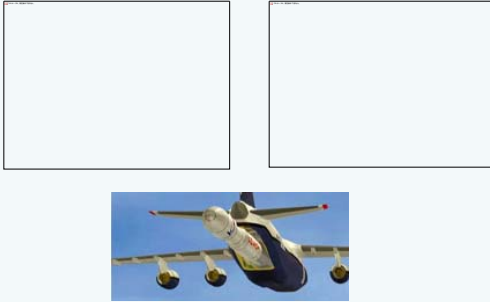
空中発射システム運用構想案



空中発射方式のトレードオフ

空中発射方式	亜音速 水平発射方式	超音速 ズームフライト方式	空中投下方式
付 図			
航空機改修	ロケットを航空機の外部に搭載するための機体改修が必要		物料投下を使用される方式で、機体改修は最小
飛行性能への影響	航空機の機体外部にロケットが就くことから、飛行性能の検証が必要 航空機の機種、ロケット形状毎に個別の検証が必要		カーゴ内への搭載することから、飛行性能の検証不要
150kg衛星 打上ロケット 極軌道500km	12tonクラス	9tonクラス 通常の戦闘機の下部では搭載不可 機体上部への搭載が必要	15tonクラス
その他の 開発リスク	外部搭載のため、飛行中に気象の影響有り ロケットに主翼が必要	外部搭載のため、飛行中に気象の影響有り 上部への搭載は、緊急脱出・空中給油などの機能を阻害	投下後の点火姿勢の確立 投棄物が発生
総合評価	△ 航空機の改修が必要で、使用する航空機が特定される	△ 航空機の改修が必要で、使用する航空機が特定される	○ 航空機の改修がほとんど不要 航空機の機種やロケット形状等の変更に柔軟

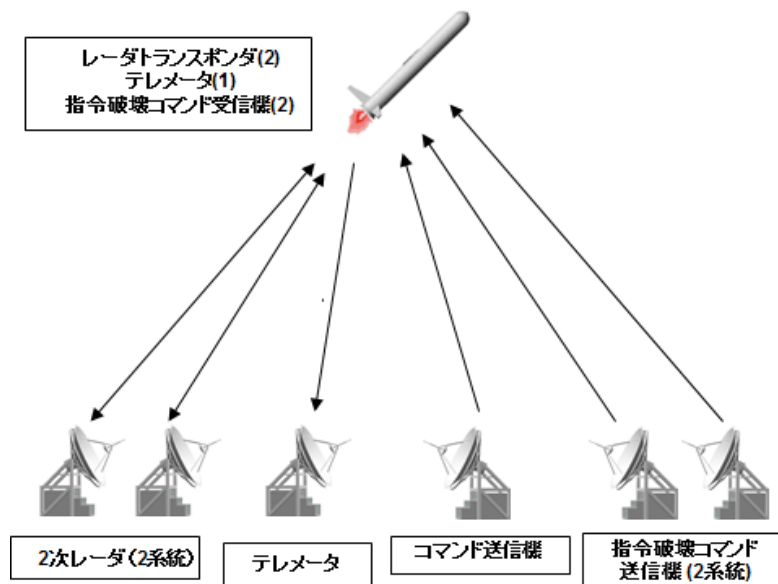
投下方式のトレードオフ

投下方式	GAL方式 (Gravity Air Launch)	射出方式	PDS方式 (Platform Delivery System)
特 徴	輸送機の胴体内にロケット設置された投下器材を搭載し、輸送機の機首を上げることによりロケットは自重で投下機材上のローラ上を滑り投下される。	サイロ方式のミサイル発射と類似の技術であり、ロケットが搭載された円筒(サイロ)を輸送機内に設置し、ガス圧によりロケットを放出する。	物料投下を使用されるプラットフォーム上に投下物を固定し、プラットフォームごと航空機から抽出傘により投下する。
イメージ	米国QuickReachの例 	ロシアPolyotの例 	物料投下の例  プラットフォーム 後部ドアからの投下
実績/検討例	米国: QuickReach ロケット 質量32ton 全長/径 20×2.2m 航空機 C-17 分離 高度10km、 速度Ma0.6	ロシア: Polyot ロケット 質量100ton 全長/径 32×3.2m 航空機 An-124 分離 高度10km、 速度 Ma0.6	米国: ミートマン ロケット 質量32ton 全長/径 18×1.67m 適用航空機 C-5A 分離 高度6km
評 価	△ C-17での実績しかなく、他の機種ではロケット投下時の機体との干渉や飛行性能への影響確認が必要	△ 投下時の機体との干渉や飛行性能の影響確認が必要 別途、射出装置が必要	○ 標準プラットフォームのタイプ別制約(質量、重心、形状)遵守により、多種の機体適用が可能

運用管制システム

現状

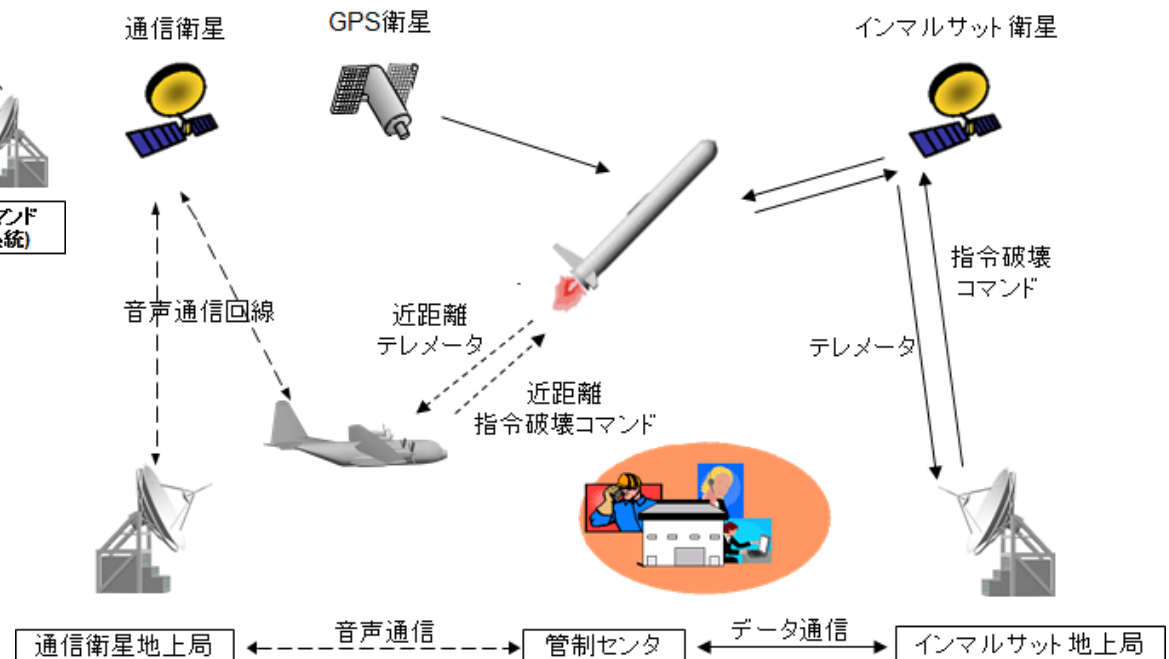
専用の地上局からの追跡管制



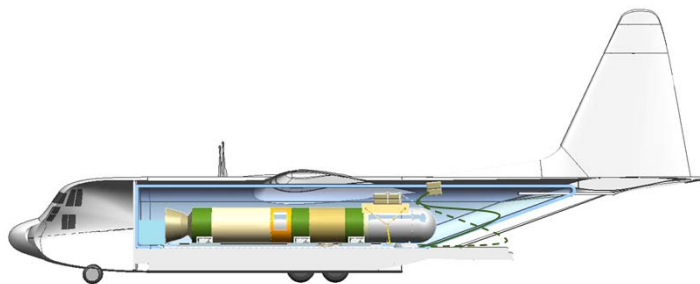
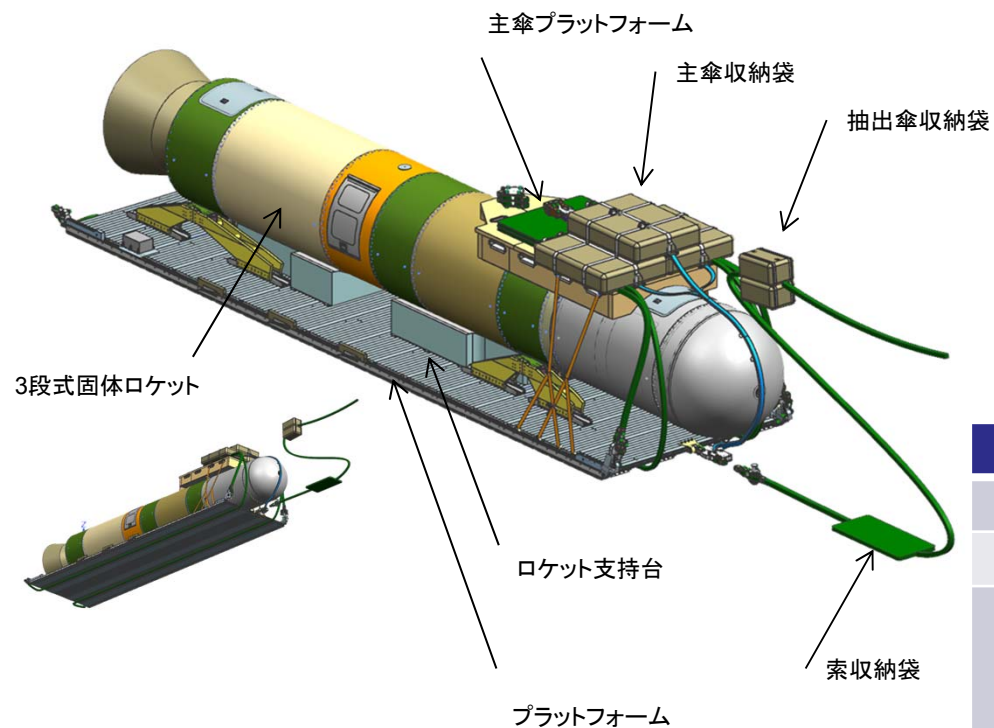
将来

専用の地上局に依存しないで通信衛星回線を利用

- ・ GPS受信機、慣性航法システムを搭載し、飛翔体の自立化を図る。
- ・ インマルサット衛星の通信回線を使用し、飛行状況のモニタを行うとともに、地上からのコマンド送信を可能とする。

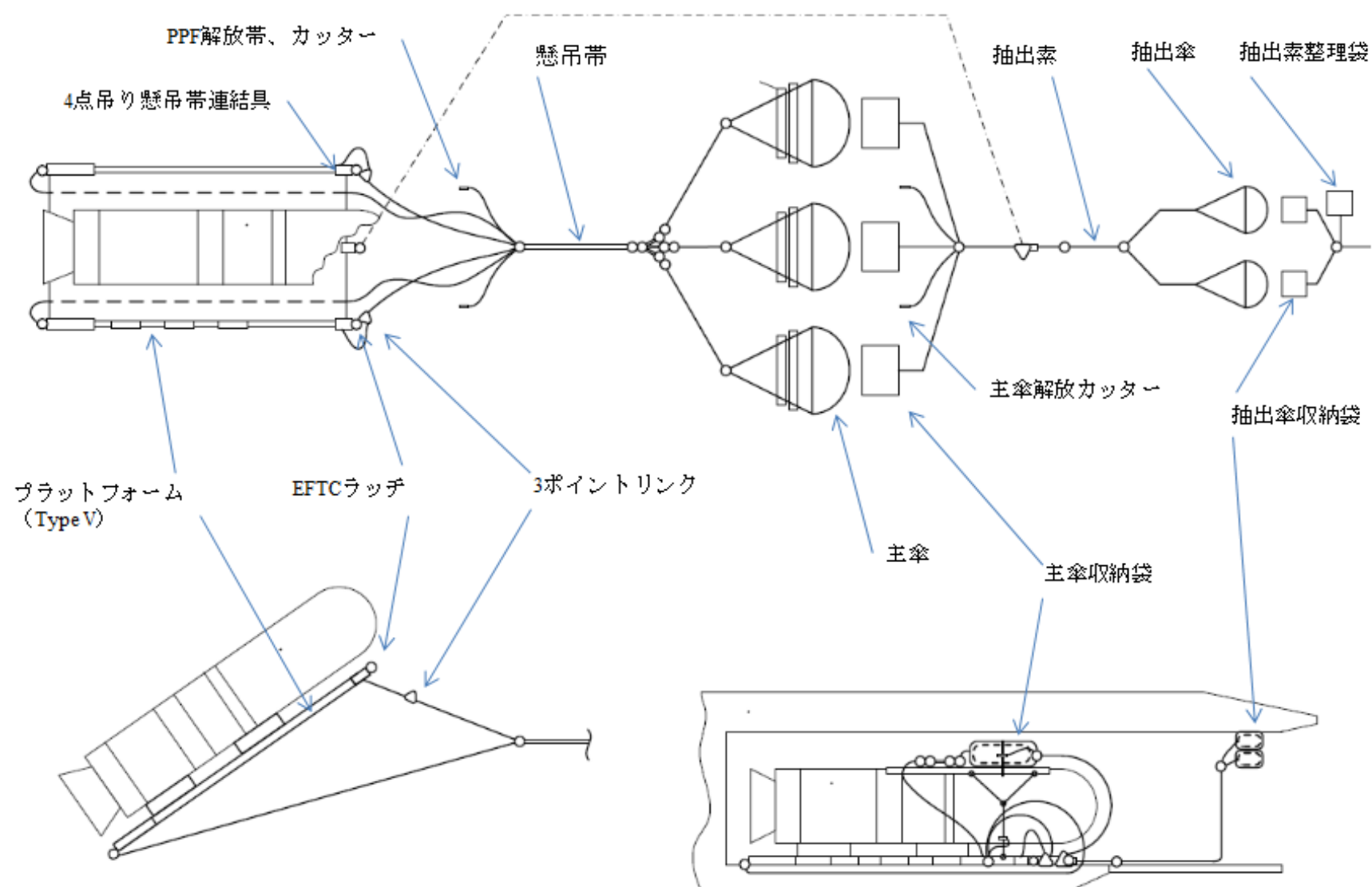


投下システム



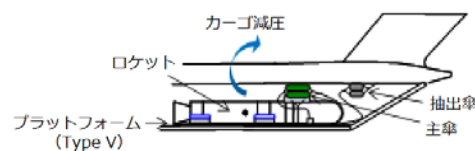
N0	項目	質量(kg)	備考
1	衛星+マージン	350	
2	3段式固体ロケット	15,000	Φ 1.5 × L 11 m
3	投下システム		
	プラットフォーム	1,400	W 108 in × L 32ft
	ロケット支持台	1,000	
	主傘 抽出傘	430	100ft × 3個 28ft × 2個
	主傘プラットフォーム	100	
	その他構成品	520	
	重心調整ウェイト	200	
全投下物質質量		19,000	W 2.7 L 18.7 H 2.6m

投下システム構成品

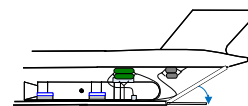


投下シーケンス

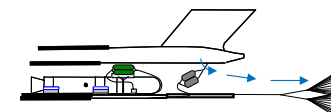
No	イベント	時刻(sec)
1	カーゴ減圧開始	
2	カーゴ後部ドア開放	
3	抽出傘放出	X+0
4	Type V固定解除	X+1
5	Type V抽出完了	X+3
6	主傘放出	X+4
7	PPF解放	
8	主傘開傘	
9	ロケット姿勢変更	X+14
10	ロケット分離	X+32
11	ロケット点火	X+33



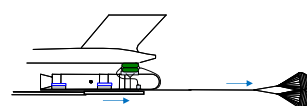
(1)カーゴ減圧開始



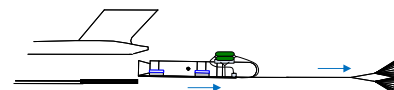
(2)後部ドア開放



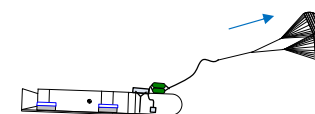
(3) 抽出傘放出



(4)Type V固定解除



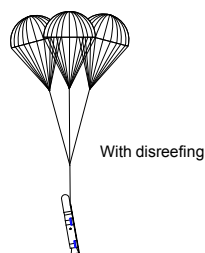
(5)Type V抽出完了



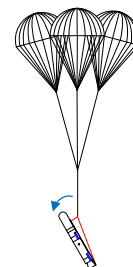
(6)主傘放出



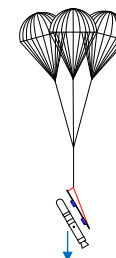
(7)PPF解放



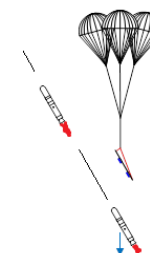
(8)主傘開傘



(9)ロケット姿勢変更



(10)ロケット分離

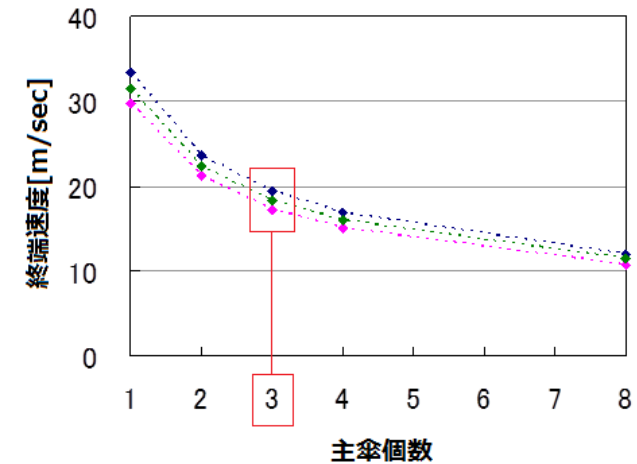
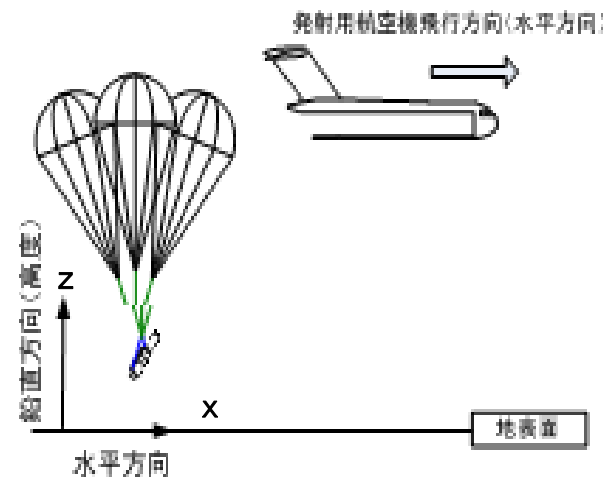


(11)ロケット点火

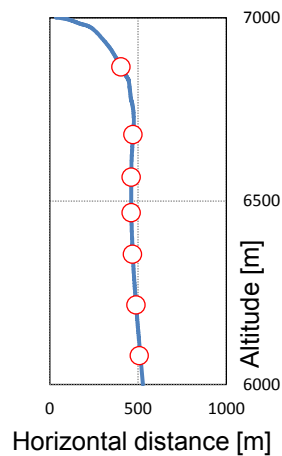
投下後のロケットの運動(概算)

ロケットの投下によるロケットの振り子運動を把握し、ロケットの点火タイミング時期を検討

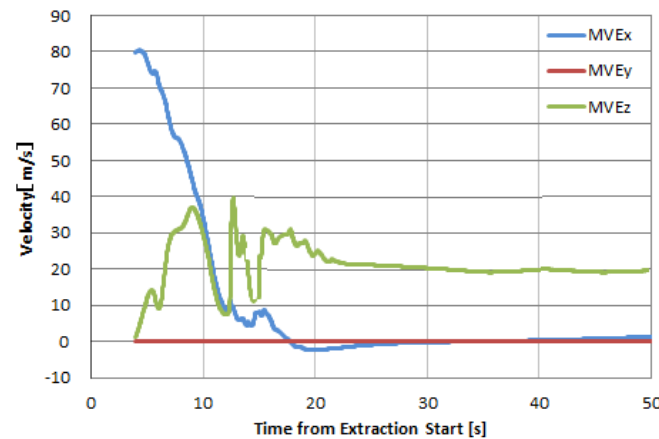
高度7000mから投下時のロケットの運動
抽出開始からの時間履歴



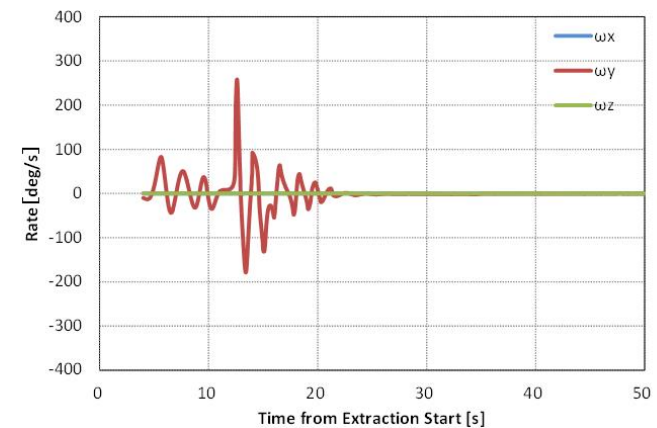
100ftメインシュート(主傘)数量と終端速度



落下運動解析結果
(高度vs水平方向距離)

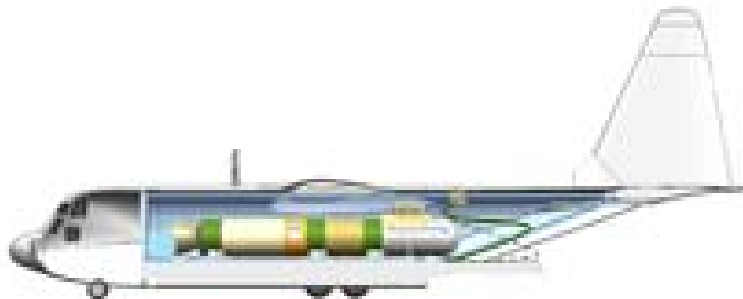


落下運動解析結果(慣性速度)



落下運動解析結果(姿勢レート)

空中発射システムの打上げ能力(概算)



航空機: C-130

投下条件: 速度 250km/h

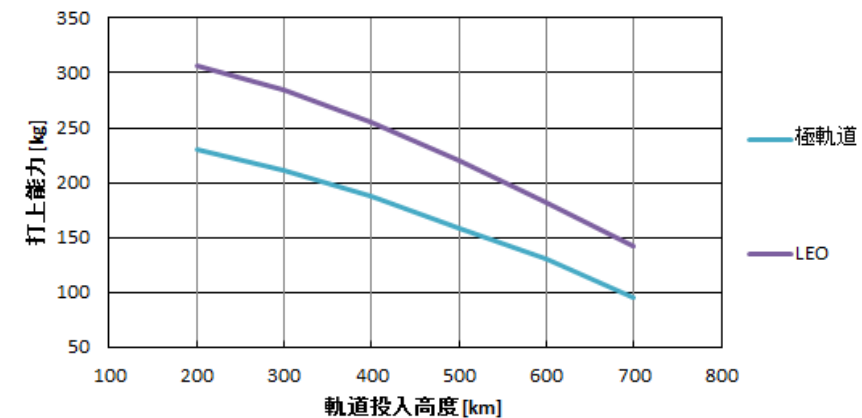
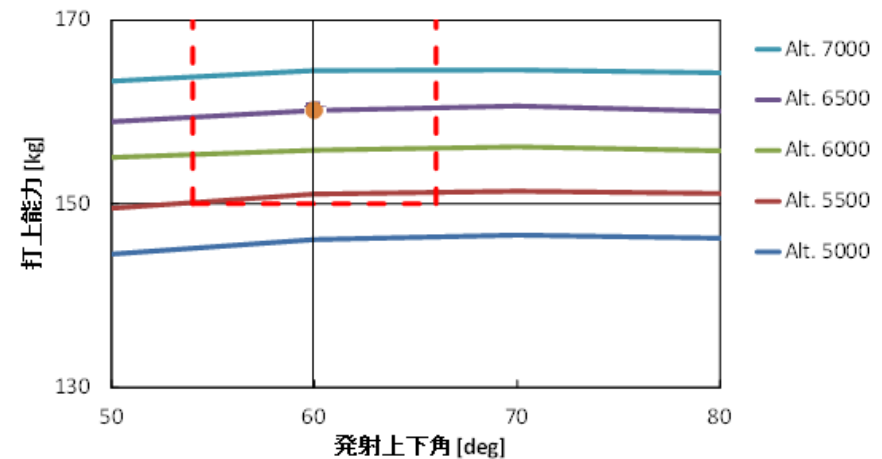
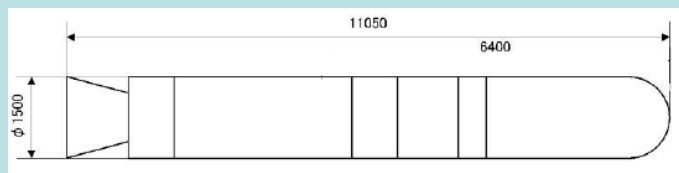
高度 7,000m

ロケット点火: 高度 6,400m

上下角 60deg.

固体ロケット概要

項 目	質量(kg)
3rd Stage	1,190
イナート	180
推進薬	1010
フェアリング	150
2nd Stage	2890
イナート	350
推進薬	2540
1st Stage	10,770
イナート	1020
推進薬	9750
トータル	15,000



航空法関連(抜粋)

項 目	関連条項	内 容	現行法における要検討事項
航空機の取扱	第二条第1項	人が乗って航空の用に供する飛行機、回転翼航空機、滑空機及び飛行船等	航空機を衛星打ち上げ機の第1段との解釈もあるが、通常の航空機として考える
事業形態	第二条第18項 第二条第21項	航空運送事業:他人の需要に応じて有償で旅客、貨物を運送 航空機使用事業:上記の運送以外の行為	衛星打ち上げを目的とした、ロケットの運送と投下業務
機長の役割	第七三条の四 第七五条	航空機内の安全 地上又は水上の人又は物件への危難の防止	打ち上げ責任者と機長の安全業務との権限を分岐
ロケット搭載	第八六条 施行規則 第一九四条 第22項第5号	爆発性等の物件の航空機による輸送に禁止 航空機以外の輸送手段が不可能、不適合の場合で国土交通大臣の承認を受けて輸送	ロケットは爆発物に該当 投下を目的としたものであり、通常の輸送に該当しない
ロケット投下	第八九条	航空機からの物件投下の禁止 ただし、地上又は水上の安全が確保でき、国土交通大臣に届け出ができた場合は可能	過去には、ビラの投下と農薬散布の実績有り 空路、海上の安全のためのノータム/水路通報の発信

米国連邦航空局 (FAA) による打ち上げライセンスの発行

目的

- ① 米国の国際責任の遵守
- ② 公共の健康と安全、財産の安全、国家安全保障および外交政策利益を保護のための商業宇宙輸送産業規制
- ③ 民間による打上げ、再突入等の商業活動の奨励、促進、振興
- ④ 連邦法、条約、規則、政策、計画および手続きに係わる勧告
- ⑤ 宇宙輸送インフラの強化、拡大促進

対象者

- ① 米国市民
- ② 合衆国および州法に基づいた団体
- ③ 米国企業及び米国が管理する外国企業

審査項目

1. 財政責任確認
2. 政策審査
3. ペイロード審査
4. 安全審査
5. 環境アセスメント審査

L. 5.事業化、波及効果

事業化のシナリオ

- (1) 空中発射システムに係わる基盤技術開発をするとともに、ロケット及びその運用に係わる低コスト、高機能化技術等を修得する。
- (2) 上記技術をベースとして、ロケットを含む空中発射システムの開発、起業準備等を実施する。
- (3) 現行法における課題、安全性における課題をクリアし、打上サービス事業へとつなげる。

波及効果

本研究開発は、空中発射システムの基盤技術開発であるが、その技術は既存のロケットへの適用の他、超高速飛翔体等への適用も可能である。これらの技術の利用により、今後の技術開発の期間短縮、コスト低減や運用経費の削減に大きく寄与する。

- (1) 空中発射システムの小型化、大型化
小型、大型輸送機への適用
- (2) ロケット打上げコストの低減
自律飛行、衛星経由管制
- (3) 無人機や極超音速機の管制
自律飛行、衛星経由管制
- (4) 各種実験のテストベッド
フライバックブースタ、カプセル、再突
入機の回収実験

2015

2020

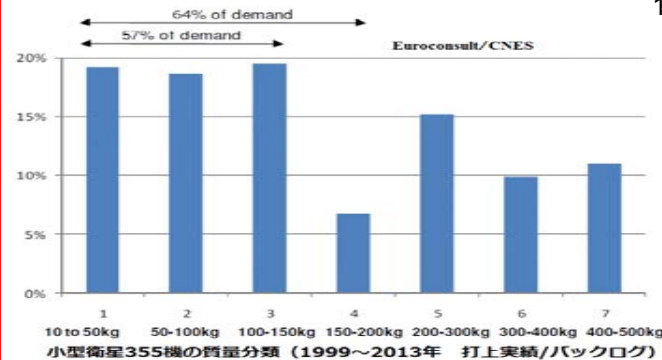
本研究開発

空中発射システム構想	システム構成 打上シーケンス
ロケット搭載/分離技術	ロケット搭載技術 ロケット投下技術
運用管制技術	ロケット用GPS/INS ロケット搭載GPSアンテナ 飛行状況自己診断機能 ロケット搭載中継衛星通信端末 ドップラシフト補償 ロケット搭載通信アンテナ
ロケット搭載電子機器技術	民生部品・機器の適用 機能統合
法規制調査	国内法 商業打上事業要件

空中発射システム開発(低コスト化)
投下技術の実証
ロケットシステム開発
(ロケットモータ、搭載電子機器、構造系、フェアリング、低衝撃衛星継手)
組立作業の省力化(機器の自己診断)
打ち上げシーケンス

移動型運用管制システム開発
航空機搭載設備開発
ロケット整備設備開発
民間打上ライセンス関係書類
管理文書類整備

市場調査、事業計画策定、官庁説明、調整
投資家、提携企業調整、商業打ち上げライセンス
広報、事業会社設立



2010年代から超小型周回衛星の技術が実証され、
超小型周回衛星群によるサービス事業展開が加速

衛星経路の運用管制



観測ロケット



無人機



極超音速機



衛星打ち上げ



小型化



大型化



フライバックブースタ



カプセル回収



再突入機回収

事業展開

空中発射システム(想定打上能力)
高度500km 極軌道 : 150kg以上
低周回軌道: 200kg以上

テストフライト

このクラスの市場はなく、新規市場の創成
現状、相乗りとピギーバック打ち上げに依存 } ユーザ期待大

コスト Pegasus : 48K\$/kg (18M\$/375kg 500kmLEO)
Falcon 1e : 12K\$/kg (10.9M\$/900kg 500kmLEO)
サービス価格想定
Pegasus相当: 48K\$ × 200kg = 9.6M\$ 以下

空中発射サービスコスト 8～9M\$ 目標

1999～2013年の打上実績/バックログ 計355機
200kg以下の衛星は64%の約16機/年 左グラフ参照

事業性

16機/年のうち、単独打上要求を半数の8機/年
半数を受注すると、
8M\$ × 4機 = 32M\$ 32M\$ × 75円/\$ = 24億円(年間)
衛星の更なる小型化開発を欧米が積極的に推進
ミッションの小型化が進み、衛星の更なる小型化促進
低コスト小型打上げ機の市場投入→市場創成、活性化
市場創成→拡大 打上げ機会の増加 → 売上げ増

波及効果

空中発射による衛星打ち上げ



本研究開発

	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	備 考
技術動向/市場調査等							超小型衛星市場の促進に対応したシステムを策定し、空中発射システムの核となる投下システムの設計、シーケンス策定等を終了 投下試験に係わる米国の安全審査をクリア
空中発射システム構想検討							
ロケット搭載分離技術開発							
運用管制技術検討							課題を抽出し、課題解決のための対応策を策定
法規制等調査							
小型搭載電子機器の検討							

今後必要な開発

事業化に向けた空中発射システムの構築には、本研究開発の成果に基づいた低コスト開発や技術実証が不可欠

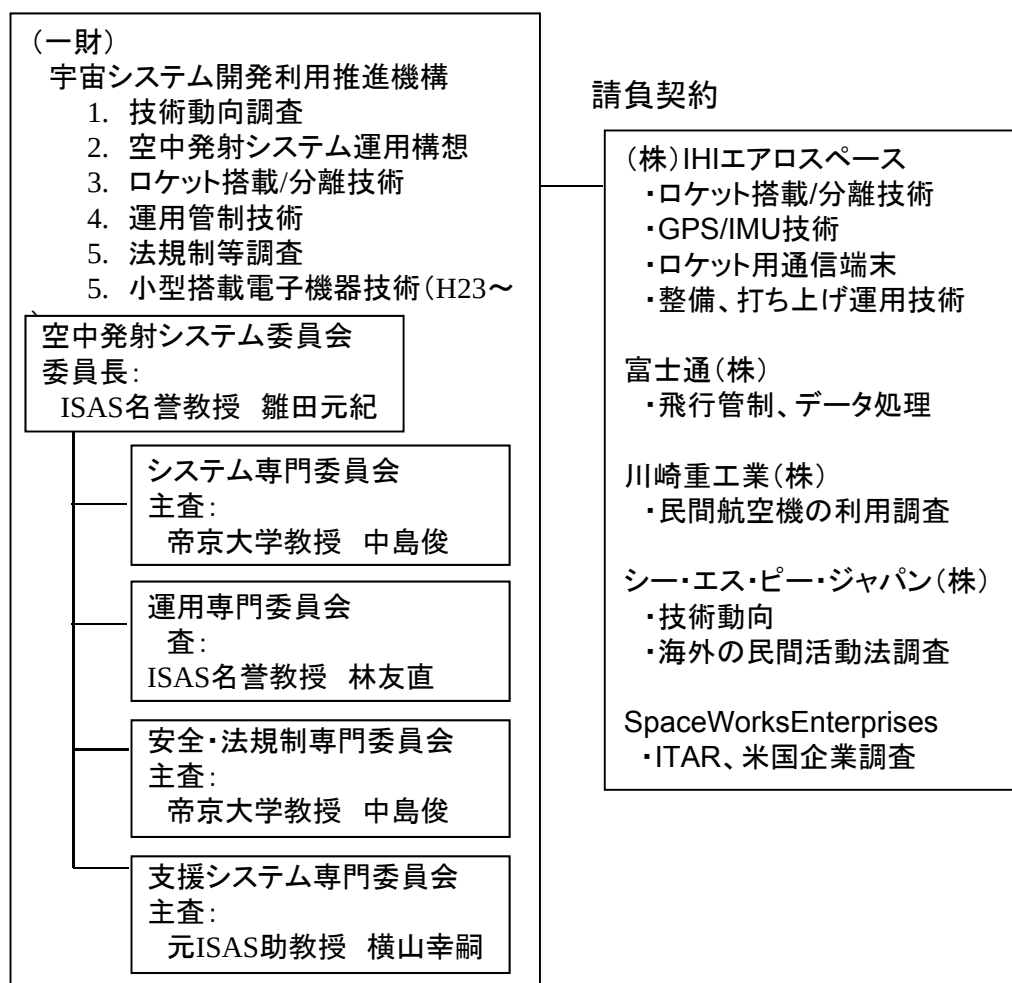
1. 投下システム実証試験
本研究成果の投下システム、投下シーケンス等の検討結果に基づき投下試験を実施し、投下技術を実証
2. 搭載電子機器の小型、軽量、低コスト化
本研究開発成果の機器の削減、統合を図ったアビオニクスシステムに基づき、民生品・民生技術を利用したシステムを開発
3. 次世代運用技術開発
本研究開発成果の仕様に基づき、インマルサット衛星との通信端末及びGPS/INS複合管制システムを開発
4. 空中発射システム開発
上記1.～3.の成果に基づき、ロケットシステムを開発し空中発射システムの打上げ実証

L. 6. 研究開発マネジメント・体制等

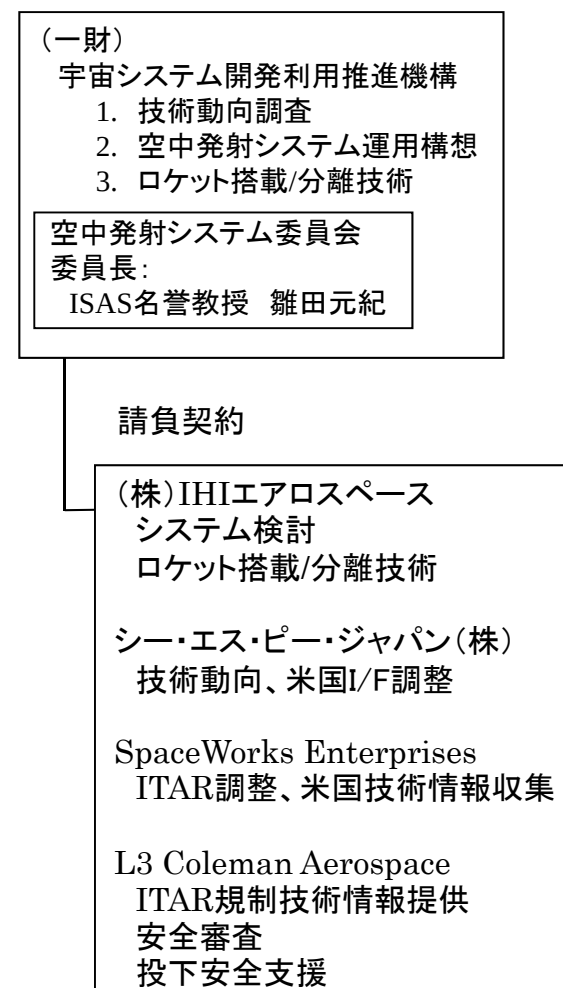
本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構が経済産業省からの委託を受けて実施している。

研究開発の実施に当たっては、財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構内に、国内の有識者からなる委員会を設置し、開発計画、解析等の結果について審議し、助言を受けて進めている。

平成21～24年度



平成25～26年度



L. 7. 前回の中間評価(平成23年度)の結果

中間評価コメント

- 空中発射システムは、日本が得意とする改良技術開発であり、今後、技術開発と共に、実機規模に近い試験実施も含めて制度整備が滞り無く進むことに期待する。
- 空中発射システムの研究開発では、実現に向けた戦略的なロードマップなどの検討も考慮する必要がある。
- 事業(プロジェクト)によっては、既に確立されつつある技術の実用化と長期的な観点から技術レベルの向上を図るものがある。両者とも全体としての目標と、それを具体化するための個別要素技術の達成目標を立てて事業化してゆくのが望ましい。(全事業共通)
- 目標設定が必要性的によって決定されることが重要であり、達成可能見込みから判断して目標設定が付けられないかを見守る必要がある。(全事業共通)

提言に対する対処方針

- 制度整備に関しては、現在日本で空中発射の事業を開始した場合を想定して航空法における問題点を抽出しているところである。今後も研究開発の進捗状況に合わせ、国土交通省と議論していく予定である。
- 空中発射の実現に向けたロードマップは策定(前記ページ参照)しているところではあるが、今後当該ロードマップにおける空中発射の事業化までの短縮に努める。
- 各プロジェクトは、前述のとおり、全体目標とそれを達成するための個別要素技術の目標を立てて実施しており、引き続き事業化に向けて取り組んでまいりたい。なお、本事業は長期的な観点から空中発射に関する技術レベルの向上を図るものであることを踏まえ、関連技術を含む全体としての目標を立てる必要がある。今後は、本事業が約10年後に事業化することを見据えて、全体の目標を立て、各個別要素技術の目標設定を行う予定である。
- 目標を設定する際には、事業者側からのみならず、利用者の視点も踏まえた目標となるよう努めているところである。なお、本事業においては、海外における学会等を通じてユーザ側のニーズを把握し、当該ニーズに基づいた目標設定を行う予定である。

L. 8. 評価

L. 8－1. 評価検討会

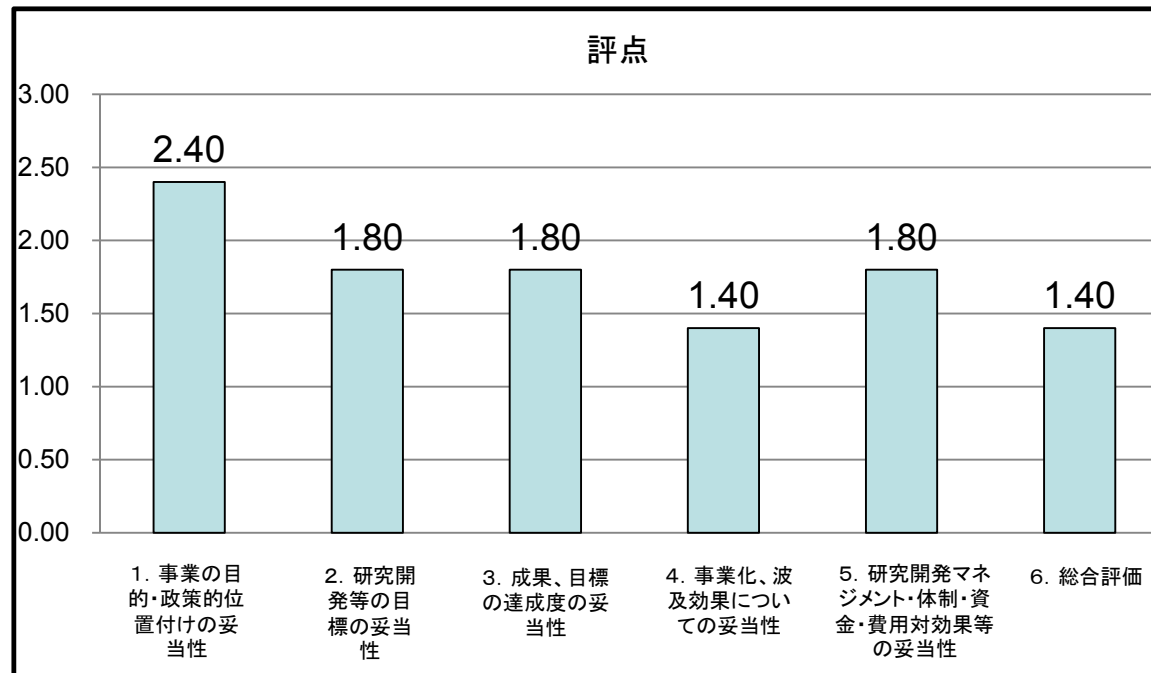
評価検討会名称	宇宙産業プログラムに関する施策・事業評価検討会	
評価検討会委員	座長	建石 隆太郎 国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター長 教授
	委員	澤谷 邦男 国立大学法人東北大学 イノベーション戦略推進本部 レジリエント社会構築イノベーションセンター副センター長 中山 裕則 学校法人日本大学 文理学部地球システム学科 教授 橋本 英一 元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙実証研究共同センター長 三宅 弘晃 学校法人五島育英会 東京都市大学 工学部機械システム工学科 准教授

L. 8－2. 総合評価(コメント)

- 空中発射システムは、衛星打ち上げの低コスト化、高効率化、打ち上げの自由度向上に資するものであり、システムを実現するための要素技術や法規制、海外動向などに関して調査・検討を行い課題の抽出をできたことは評価できる。
- ただし、本事業では打ち上げの実証には至っておらず、本事業の核であるパラシュートの投下・展開・姿勢の確立までを実証に含めるべきであったと考える。試作試験など解決すべき事項はまだ多く残っている。また、機体の保守コストや駐機料など全体的なコストを比較し、ビジネスとして成立するかも検討すべきであった。

L. 8-3. 評点結果

- 「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、評点法による評価を実施した。
- 「2. 」～「6. 」については、打ち上げの実証には至っておらず、本事業の核であるパラシュートの投下・展開・姿勢の確立までを実証に含めるべきであったこと、試作試験など解決すべき事項はまだ多く残っていること、機体の保守コストや駐機料など全体的なコストを比較し、ビジネスとして成立するかも検討すべきであったことから、評点が2点を下回った。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 実施された事業は、優れていた。

2点: 実施された事業は、良かった。

1点: 実施された事業は、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であった。