

資料25-1

科学技術・学術審議会  
研究計画・評価分科会  
宇宙開発利用部会  
(第25回H28.2.2)

光データ中継システム  
プロジェクト移行審査の結果について

平成28年2月2日

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

理事 山本 静夫

JDRSプロジェクトマネージャ 高畑 博樹

# 本資料の位置付け



## ◆宇宙開発利用部会におけるプロジェクト事前評価

### ⇒基本的な考え方

JAXAは、プロジェクトの企画立案と実施に責任を有する立場から、JAXA自らが評価実施主体となって評価を行うことを基本とする。

これを踏まえ、宇宙開発利用部会では、JAXAが実施した評価の結果について、調査審議を行う。

「宇宙開発利用部会における研究開発課題等の評価の進め方について  
(H25.4.4 宇宙開発利用部会決定)」

## ◆本資料の位置付け

⇒ JAXAが実施した光データ中継システムに係るプロジェクト移行審査の結果について報告するもの

# プロジェクト移行審査における主たる審査項目



- ◆ 光データ中継システムは、平成27年度から予算事項化されたことから、プロジェクト移行することとし、プロジェクト移行審査を実施した。審査における主たる項目を以下に示す。
  1. プロジェクト目標(ミッション要求、成功基準の再確認を含む)、プロジェクト範囲が適切かつ明確に設定されているか【審査項目#1】
  2. 実施体制、人員計画、資金計画、スケジュールの妥当性【審査項目#2】
  3. リスク識別とその対策の妥当性【審査項目#3】
  
- ◆ なお、光データ中継システムのプロジェクト移行審査に先立ち、【審査項目#1】に対し、外部の専門家の視点から評価を頂いた。その結果を【参考2】に示す。

## 1. 計画概要

## 2. プロジェクト目標の設定

### 2.1 プロジェクトの目的

### 2.2 プロジェクトの成功基準

【審査項目#1】

## 3. 光データ中継システムの開発計画

### 3.1 実施体制・資金計画・スケジュール 【審査項目#2】

### 3.2 開発リスク 【審査項目#3】

## 4. プロジェクト移行審査のまとめ

参考1 光データ中継システムが目指すべきアウトカムの考え方

参考2 外部の専門家からの評価結果

# 1. 計画概要

- 今後のリモートセンシング衛星の高度化、高分解能化に対応するため、データ中継用衛星間通信機器の大幅な小型化・軽量化・通信大容量化を実現する光衛星間通信技術を用いた光データ中継システムの開発を行う。
- 光通信に関する実証実験や性能評価の実施については、総務省/NICTと連携する。
- 衛星バスと打上げは政府機関のデータ中継衛星事業と相乗りして行う。



光データ中継衛星外観図(イメージ)

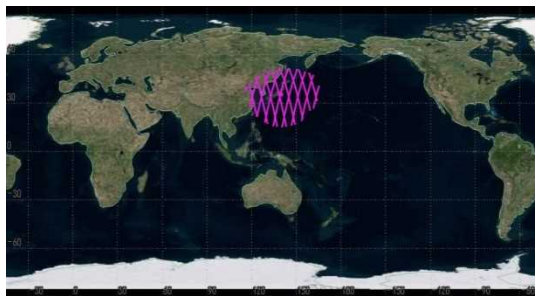
# データ中継衛星の概要

## 【データ中継衛星】

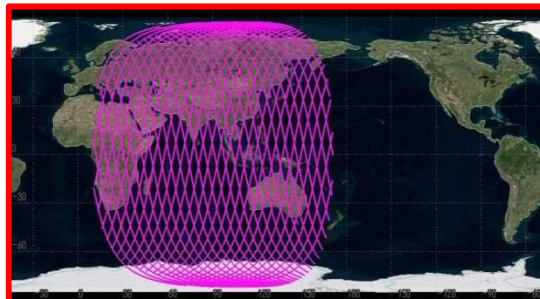
低高度(1000km以下)を周回する観測衛星、宇宙ステーションと地上局間の通信を中継する静止衛星である。

### ●データ中継衛星のメリット

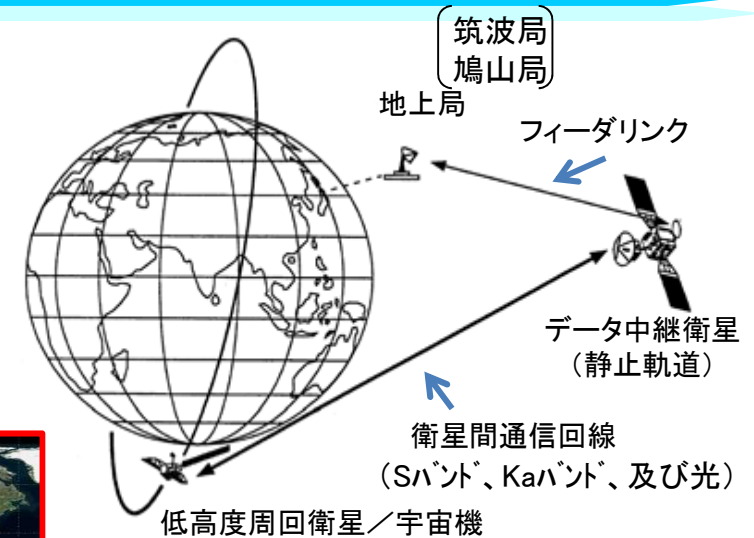
- ・ 広い可視範囲により、**即時性**を有する。



勝浦局からの可視範囲



東経90度付近のデータ中継衛星からの可視範囲



衛星間通信の概念図

■データ中継衛星では広い可視領域が確保できる。DRTS「こだま」の軌道位置では、日本のEEZからアジア、中東、アフリカの一部までの広大な領域をカバーしている。

- ・ 長時間の通信時間を実現することで、**大容量化**が図れる。

- 地上と直接通信できる時間 : 1回に数分から十数分
- データ中継衛星での通信時間 : 1回に40分程度
- ⇒ 地球周回衛星が取得したデータを最大限活用できる

### <陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)の実績>

データ中継衛星のメリットを活かす事により、大容量のデータ伝送がリアルタイムで可能になった。

#### ●データ中継衛星の使用状況

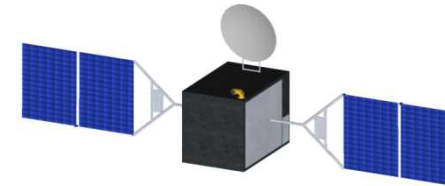
(平成18年5月~平成23年3月までの実績)

- ・ 1日の平均通信時間: 平均8時間 (1日13パス前後)
- ・ 直接伝送(地上局11局): 約1時間
- ⇒ 約8倍の通信時間を「こだま」経由で通信

## ■JAXAデータ中継衛星構想



電波から光へ



### データ中継技術衛星「こだま」(DRTS)

- 通信速度: 240 Mbps
- 衛星間通信に電波(Ka帯)を使用
- 平成14(2002)年打上げ

### 光データ中継衛星

- 通信速度: 1.8 Gbps
- 衛星間通信に光(レーザー)を使用
- 平成31(2019)年度打上げ予定

- データ中継衛星「こだま」(DRTS)

平成14年9月に打上げ後、陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)、国際宇宙ステーション等のデータを中継してきており、データ中継衛星の有効性を示してきた。

- 光データ中継衛星

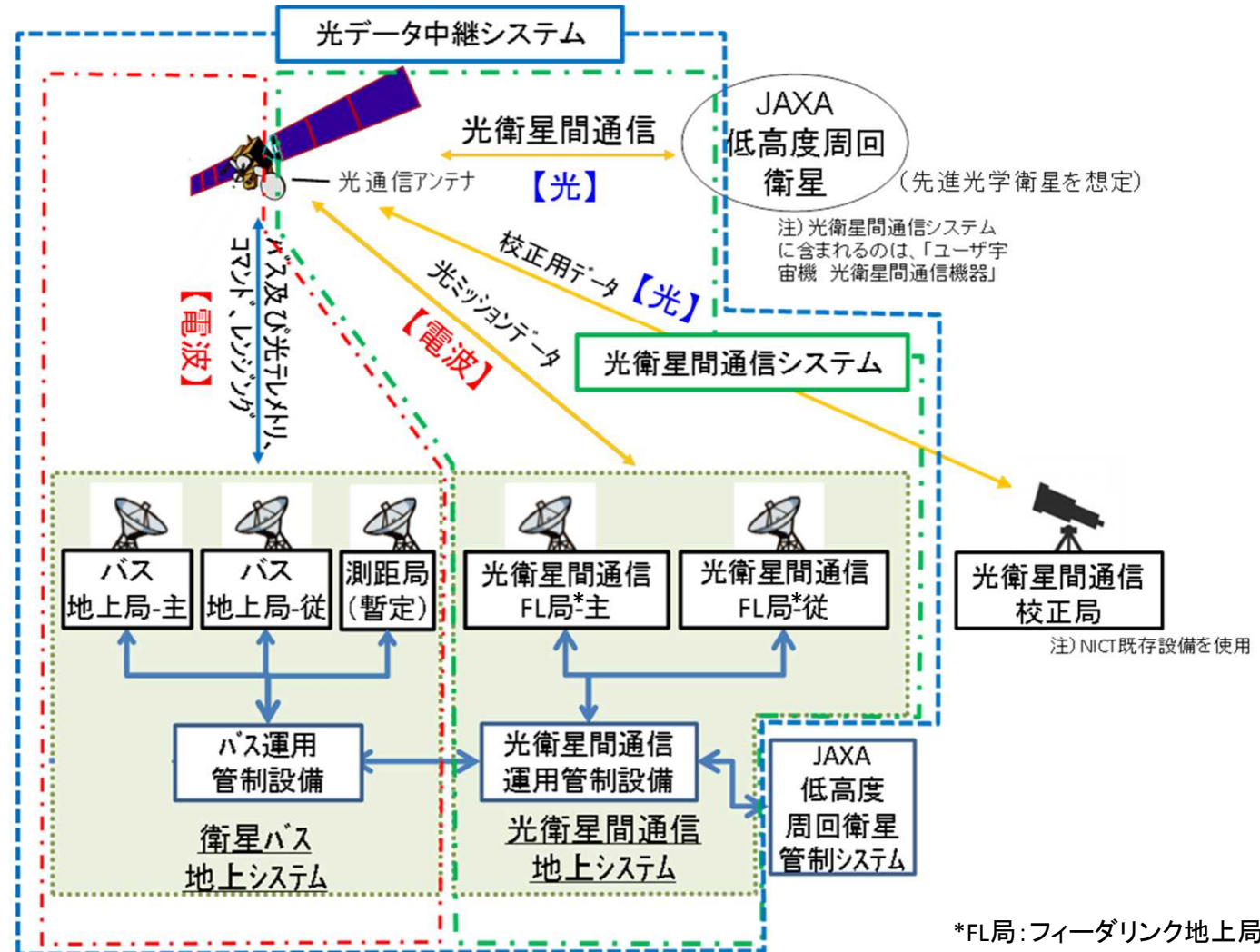
これまでKa帯を使用していた衛星間通信回線に光を使用することで、大幅な高速化と小型化が可能。

将来は光通信機器のコンパクトさを活用し、1機のデータ中継衛星に複数の光通信機器を搭載し、複数のユーザ衛星に通信回線を提供すること(マルチアクセス)が可能となる。(電波の場合、衛星搭載の大型アンテナ(「こだま」は直径 3.6 m)が必要であり、3回線以上のマルチアクセスは困難。)



# 光データ中継システムの構成

■本計画では、光データ中継衛星及び地上システムからなる「光データ中継システム」の開発を行う。



データ中継衛星事業との相乗り

\*FL局: フィーダリンク地上局

項目	諸元
打上げ年度	平成31年度
打上げロケット	H-IIAロケット
軌道	静止軌道
主要 ミッション機器	光データ中継通信機器(データ中継能力:ミッションデータ伝送レート 1.8Gbps) ・光衛星間通信部(静止衛星搭載用) (ミッションデータ伝送レート 1.8Gbps) ・衛星-地上間通信部(電波を利用) (ミッションデータ伝送レート 1.8Gbps)
打上げ時質量	4,000 kg以下
姿勢制御方式	三軸姿勢制御方式
発生電力	3,900 W以上 (@EOL夏至)
設計寿命 (ミッション機器)	打上げ後10年

## 2. プロジェクト目標の設定

2.1 プロジェクトの目的

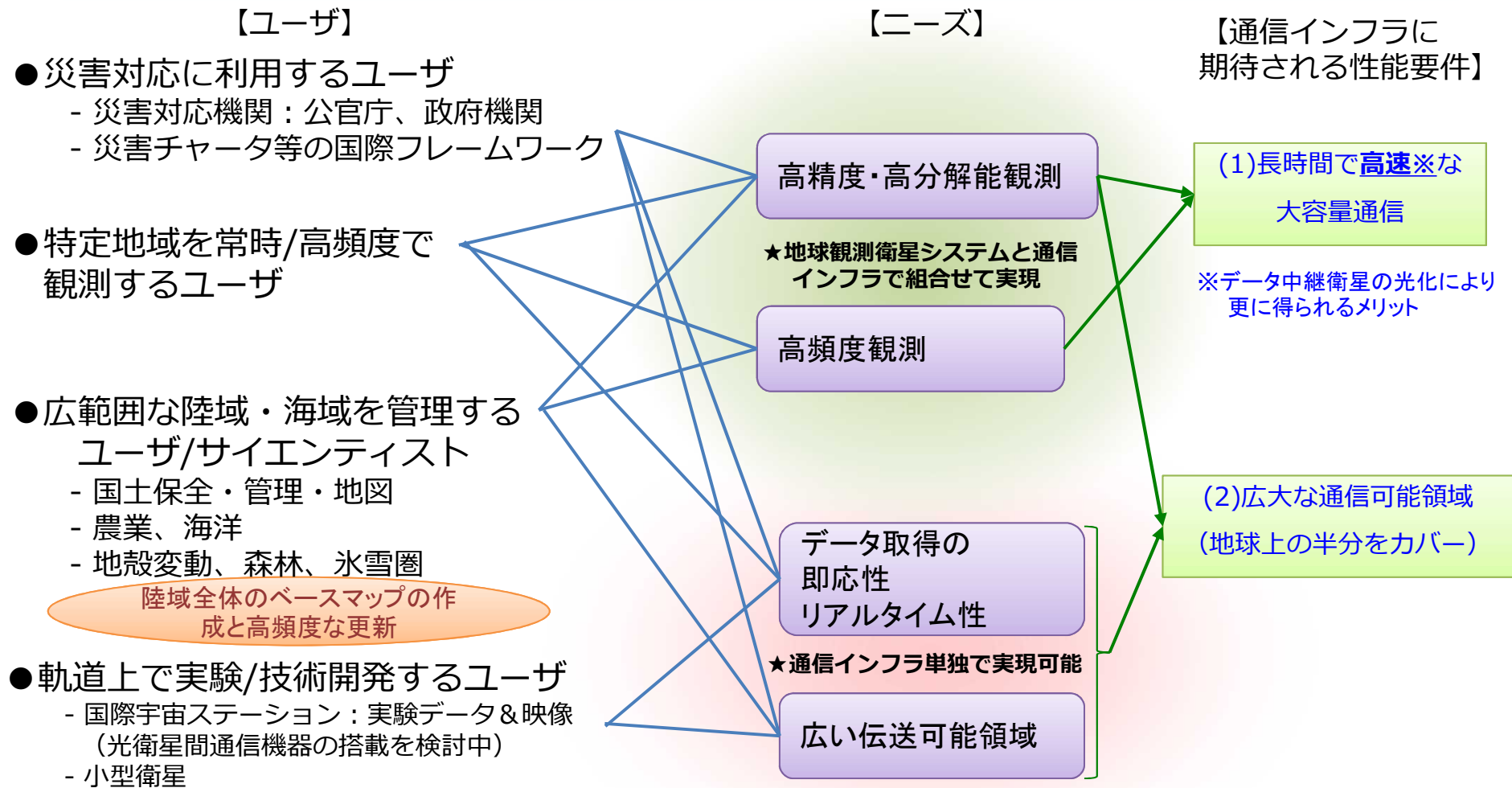
2.2 プロジェクトの成功基準

## プロジェクトの目的



- 広い可視範囲による即時性や長時間通信による大容量化といったメリットを有する光データ中継システムの開発を行う。
- そこに搭載される衛星間通信機器には、小型軽量化(口径10cm程度)・通信大容量化(1.8Gbps以上)を実現する光衛星間通信技術を適用する。
- 即時性に優れ、大容量のデータ伝送を可能とし、低高度を周回する種々の地球観測衛星等からのデータ収集能力、災害状況把握能力等の向上に貢献する。
- 光衛星間通信の軌道上実証により、将来のリモートセンシング衛星等の高分解能化に伴うデータ量の増大への対応、通信機器の小型・軽量・省電力による超小型衛星等への搭載、電波を用いないことによる周波数枯渇問題への対応、宇宙通信システムの耐妨害性・耐傍受性の向上が実現する。
- 以下、光衛星間通信に関し、ユーザニーズ、成功基準、参考1に光データ中継システムが目指すべきアウトカムの考え方を示す。

# データ中継システムのニーズ

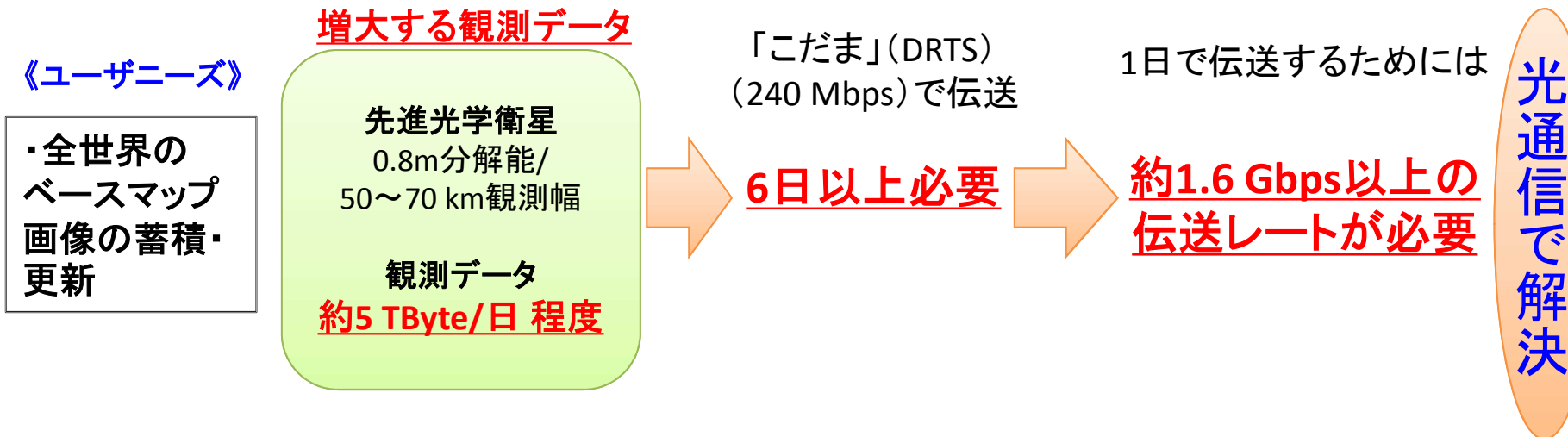


■ データ中継システムを使用することで、  
 (1)長時間で高速な**大容量通信**  
 (2)広大な通信可能領域（地球上の半分をカバー）での**即時通信**  
 が実現できる。これにより**ユーザのデータ取得に対するニーズを満たすことができる。**

## 2.1 プロジェクトの目的 衛星間通信に対する高速化ニーズ

### ■ 先進光学衛星からの要求

#### (1) 長時間で高速な大容量通信



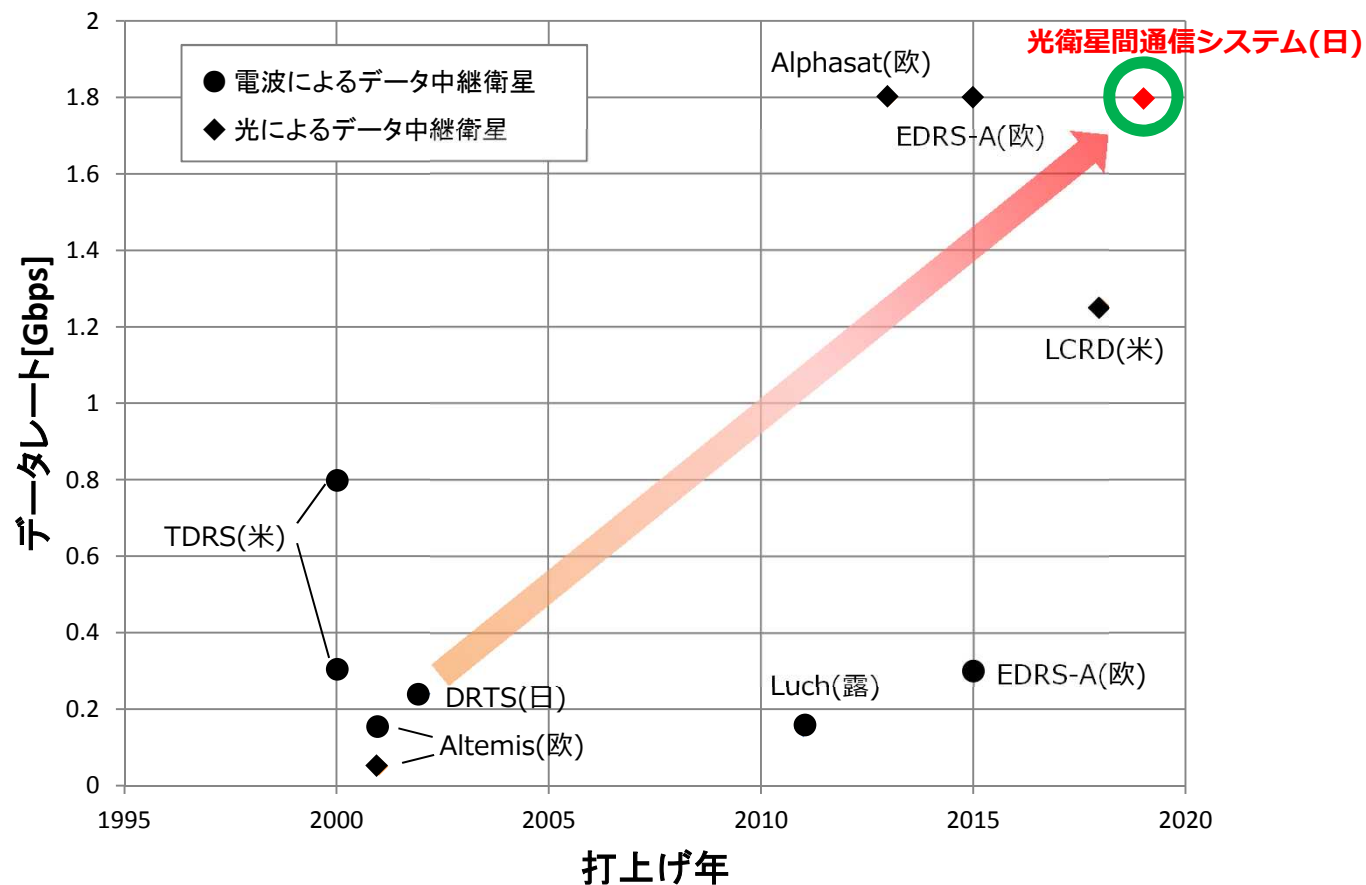
#### (2) 広大な通信可能領域



広い通信可能範囲をカバーできる光データ中継衛星は、我が国にとって、必要な宇宙通信インフラである

## データ中継システムの性能比較

- 喫緊の先進光学衛星のニーズを満たす光データ中継技術を早期に確立する。
- 先行する欧州のEDRSシステムに比肩する。  
⇒ 通信速度1.8Gbpsの実現を目指す。



# 成功基準(アウトプット目標)



アウトプット目標*	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス (以下のいずれかを達成すること)
① 光データ中継システム技術の早期確立  ② 通信速度1.8 Gbpsの実現  ◆ 静止衛星及び低軌道周回衛星に搭載する光衛星間通信システムを開発し、システム全体として通信速度1.8 Gbpsの光データ中継通信を行う。	以下①を満たす条件で <b>光衛星間通信リンクを確立</b> し、光衛星間通信の実証を行うこと。  <b>【条件】</b> ①データ伝送レート リターンリンク:1.8 Gbps以上 フォワードリンク: 50 Mbps	以下①～③の条件を満足する <b>光データ中継通信を行う</b> こと。  <b>【条件】</b> ① データ伝送レート リターンリンク:1.8 Gbps以上 フォワードリンク: 50 Mbps  ② 通信回線品質 リターンリンク: $1 \times 10^{-5}$ 以下 フォワードリンク: $1 \times 10^{-6}$ 以下  ③ 運用達成率:95%以上(暫定)	<b>【I. 光衛星間通信の実証】</b> 光データ中継衛星搭載光衛星間通信機器が「先進光学衛星」、「きぼう」船外実験プラットフォーム <b>以外のユーザ宇宙機</b> に対し、フルサクセスの条件①～③を満たす条件で有効的な通信手段として <b>光衛星間通信を提供</b> すること。  <b>【II. 光地球局との通信実験】</b> 以下のいずれかが達成されること。  ① <b>光ファイダリンク</b> について、GEOからの高速 <b>データダウンリンクの実現性</b> について、大気揺らぎ効果抑制技術の適用評価も含め <b>目途を得ること</b> 。  ②大気伝搬特性で新たな学術的知見が得られること。

\* アウトプット目標: 当該プロジェクトが開発するシステムにより作り出される成果物に関し、目指す技術仕様や性能等を設定するもの。

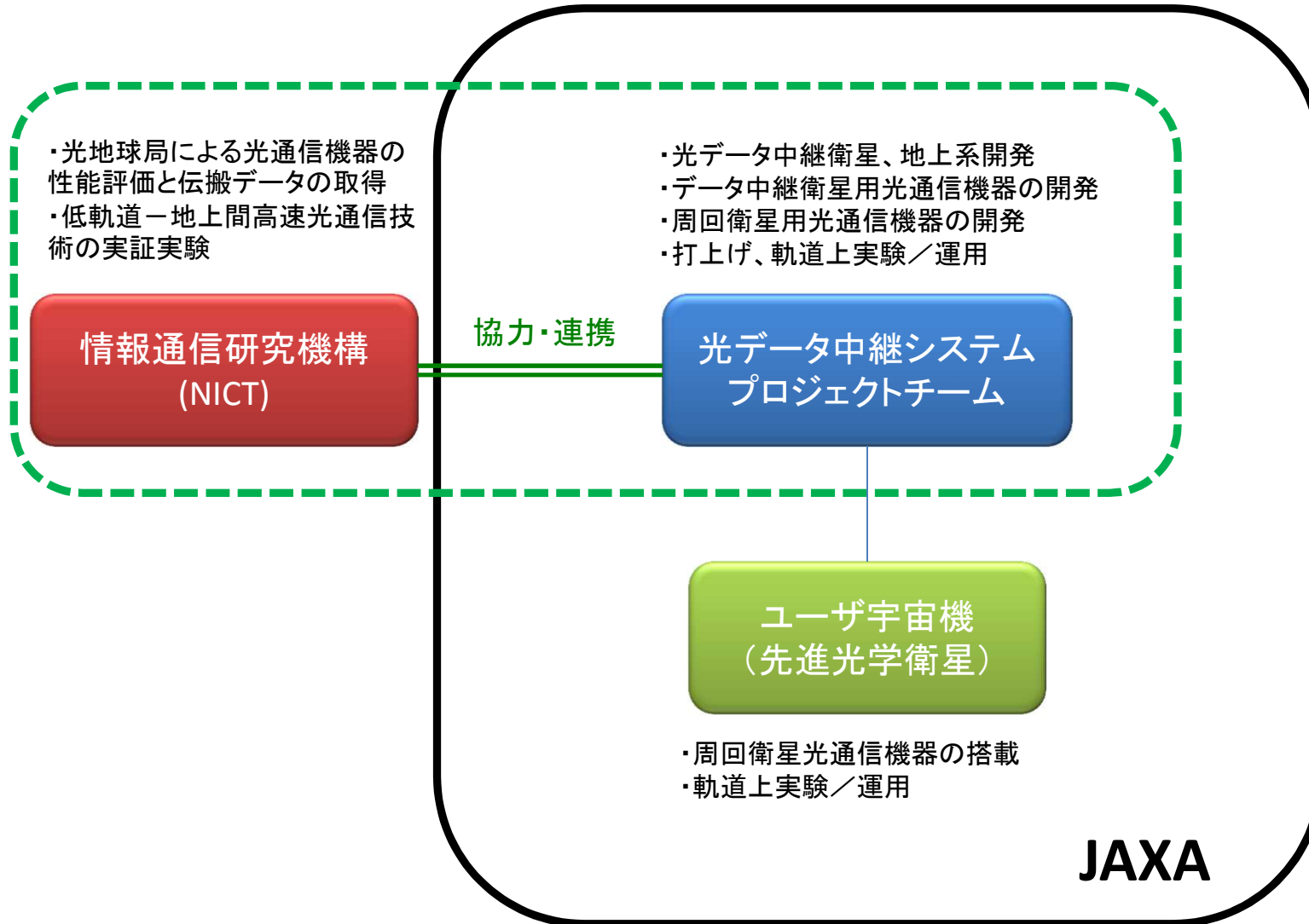


## 3. 光データ中継システムの開発計画

3.1 実施体制・資金計画・スケジュール

3.2 開発リスク

# 実施体制



# 資金計画



- JAXAが実施する光データ中継システム開発の総資金は下記の通り。

265億円

- 上記の資金は、政府機関が実施するデータ中継衛星事業分を含んでいない。

## スケジュール



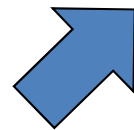
年度	27 (2015)	28 (2016)	29 (2017)	30 (2018)	31 (2019)	32-41 (2020 -2029)
マイルストーン	▲プロジェクト 移行審査				打上げ▲	
人工衛星(バス)	基本設計	詳細設計	維持設計			
	EMの製作・試験					
		PFMの製作・試験				
人工衛星(ミッション)	基本設計	詳細設計	維持設計			
		EMの製作・試験				
		PFMの製作・試験				
ロケット		初期検討	打上げサービス調達			
地上設備整備	バス・ミッション管制設備整備					
運用					運用	

# リスク・課題の識別



## ■リスク識別レベルの定義

発生の影響度	発生の可能性	大	中	小
	大	大	大	中
中	大	大	中	小
小	中	中	小	小



発生の影響度

レベル	技術	スケジュール	コスト
小	軽微	軽微	軽微
中	許容可能、次善の策あり	1ヵ月以下の遅延	数千万円
大	許容不可能	6ヶ月以上の遅延	1億円以上

総合の影響度は「技術」、「スケジュール」、「コスト」で論理和(or)をとる)



発生の可能性

レベル	定義
小	発生の可能性は低く、このリスクは避けられる
中	発生があり、リスクを避けるための処置が必要である。
大	発生可能性が高く、代替手段が無い可能性がある。

# リスク・課題の識別



## ■リスクと対処方針(抜粋)

No	項目	リスクの内容	発生の可能性	発生の影響度	リスクレベル	対処方針
1	光衛星間通信機器開発スケジュールの遅延	新規開発部分のスケジュールが遅れ、開発スケジュールが遅延する。	中	大	大	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フロントローディングによる衛星システム開発に先行し、研究開発に着手している</li> <li>・スケジュールの適切な設定とマージンの確保</li> </ul>
2	長納期部品の調達遅延	長納期部品の発注が遅れ、開発スケジュールが遅延する。	小	大	中	<ul style="list-style-type: none"> <li>・使用する長納期部品の識別および発注時期の明確化(フロントローディングでの先行手配を含む)</li> </ul>
3	フィーダリンク帯域の確保不十分・調整遅延	フィーダリンク帯域の確保が不十分もしくは調整の遅延により開発スケジュールが遅延する。	小	大	中	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周波数調整の早期着手</li> <li>・偏波多重等、周波数利用効率の高い方式の検討</li> <li>・フロントローディング活動として、周波数帯域を有効に使う変調器の試作を行う。</li> <li>・調整遅延時は、周波数変更に備え、複数周波数に対応した部品手配を行う</li> </ul>

## 4. プロジェクト移行審査のまとめ

今後の地球観測衛星に代表されるように、宇宙空間上で生成されるデータ量は、今後飛躍的に増加することが予想される。そのような状況において、光宇宙通信技術の開発は、今後の宇宙通信インフラとして中核をなすものであり、欧米に遅れることなく更に凌駕すべく、我が国が取り組むべき喫緊の課題である。

本課題への取り組みにおいては、光データ中継システムと複数のユーザ衛星・探査機等の統合システムの構築・運用の視点、及び将来の宇宙通信インフラに必要となる光宇宙通信技術の研究の視点を持つことが重要である。

上記を踏まえた上で、本プロジェクトが進める計画（目的、目標、成功基準、スケジュール、資金等）は、光による宇宙通信インフラ構築の第一歩として、現時点で想定できるユーザニーズや技術動向の観点等から妥当である。このことから、本システムは、プロジェクトへ移行して良いものと判断する。

外部の専門家からの意見に対する検討を進めるとともに、本審査において設定した要処置事項について、期限までに確実に処置すること。

以上

平成27年11月10日  
審査委員長 山浦 雄一



# 主な審査結果



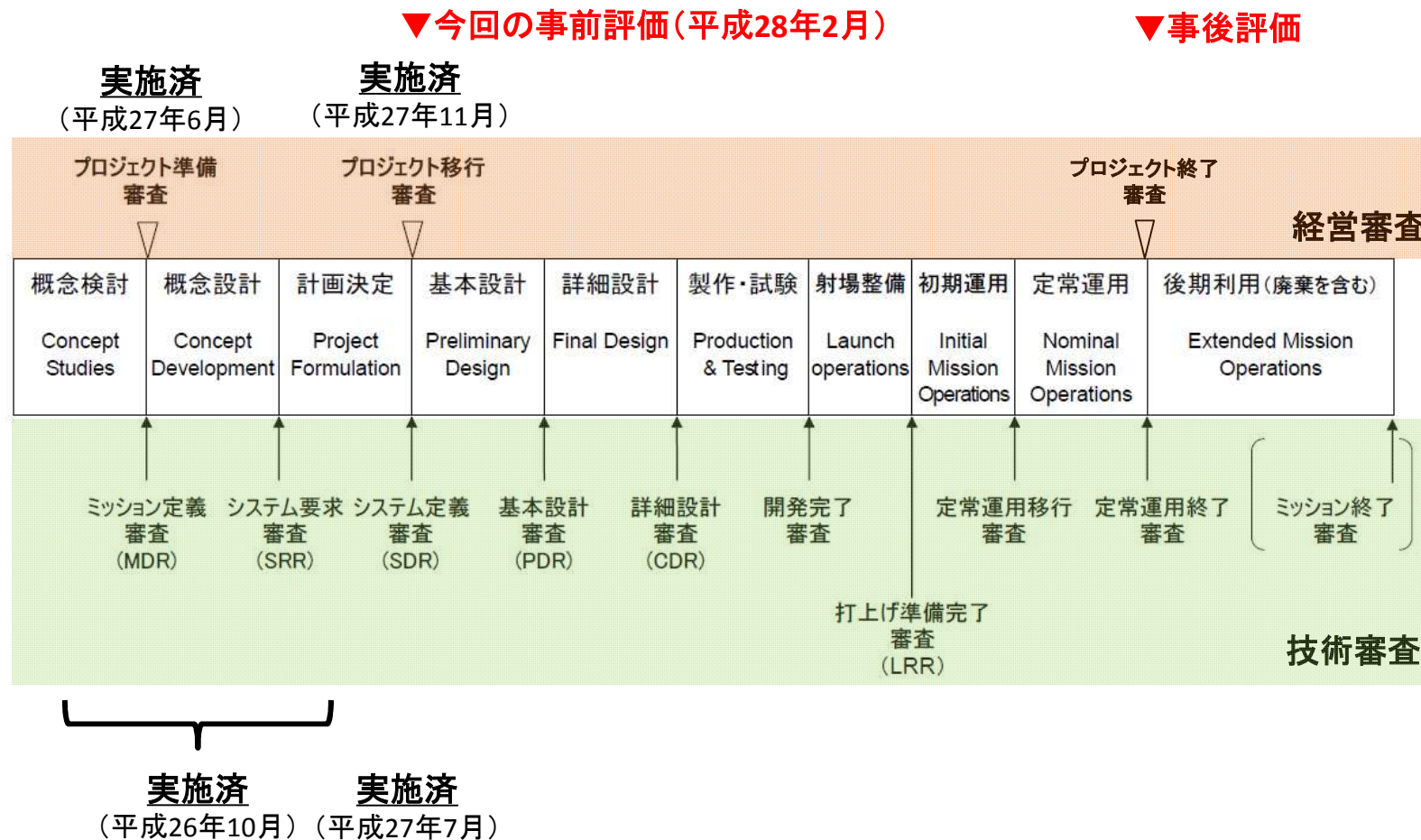
審査項目	主な審査結果
(1) プロジェクト目標(ミッション要求、成功基準の再確認を含む)、プロジェクト範囲が適切かつ明確に設定されているか	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 現時点で想定できるユーザニーズ、国際的技術動向(ベンチマーク)、光通信ネットワークの将来像等の観点からプロジェクトの目的・目標・成功基準は妥当である。</li> <li>■ 外部評価委員からの指摘や本審査で議論された下記事項を踏まえ、アウトカムについては再整理すること。</li> </ul>
(2) 実施体制(含む、他機関、メーカ)が妥当であるか	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ プロジェクト内部体制、及びプロジェクトに対するJAXA内の支援体制が明確になっている。また、外部機関との関係においても、役割分担、責任分担が明確になっている。</li> </ul>
(3) 資金計画が妥当であるか	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 開発に必要な総資金は予算内であり、妥当である。</li> </ul>
(4) 人員計画が妥当であるか	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ プロジェクト発足時の人員規模としては、概ね妥当である。</li> </ul>
(5) 開発スケジュールが妥当であるか	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ユーザ宇宙機(先進光学衛星)へのLEO搭載光衛星間通信機器の引き渡し時期の整合は取れている。</li> <li>■ スケジュールの余裕が短めであることから重点的なスケジュール管理を行う必要がある。</li> </ul>
(6) プロジェクト遂行上のリスク・課題が識別され、その対応策が妥当であるか	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 光衛星間通信機器の新規開発部分について、プロジェクト移行段階としての技術リスクの水準としては概ね妥当な状況にあると考える。</li> </ul>

以後、補足および参考

# 【補足】利用部会事前評価とJAXA内審査との関係



JAXAが実施する宇宙に関する研究開発プロジェクトのフェーズとJAXAプロジェクトマネジメント規定に基づいて実施した審査会の受審実績との関係を以下に示す。



# 【補足】プロジェクト移行審査の審査委員構成



## 【審査委員長】

経営推進担当理事

山浦 雄一

## 【審査委員】

理事

川端 和明

理事

山本 静夫

理事

今井 良一

理事

浜崎 敬

執行役

田中 哲夫

執行役

布野 泰広

技術参与(信頼性統括)

武内 信雄

技術参与(統括チーフエンジニア)

本間 正修

## 【監事(オブザーバ)】

監事

高橋 光政

# 【参考1】光データ中継システムが目指すべきアウトカムの考え方

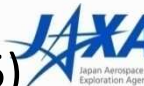
外部の専門家からの意見を踏まえ、以下の通り、光データ中継システムがJAXA内外のパートナーとの協力体制の下で目指すべきアウトカム※の考え方を更新した。

- 「光データ中継システム」の圧倒的な広域性・即時性及び高速・大容量通信の特長を活かし、安全保障に資する社会システム構築を支える基幹インフラとして貢献する。以下に具体例を示す。
  - 防災関連機関等のパートナーにより、光データ中継システム及び地球観測衛星群を用いた災害対策(起こりえる災害に対する備え)が実運用に供される
  - 耐傍受/耐妨害に優れた光衛星間通信システムが実運用に供される
- 光衛星間通信の国際標準化、及び光通信技術の利用拡大に貢献する。以下に具体例を示す。
  - 光衛星間通信の国際標準化を実現し、我が国のみならず海外の衛星(超小型衛星を含む)に対する相互運用が実現される。
  - 衛星－地上の直接通信が実用化される
  - 大容量通信・通信機器の小型化等により、超小型衛星、動画像ユーザ、探査機、航空機など新たな分野の光通信が実用化される

※アウトカム： プロジェクトが目指すべき最終的な目的であり、プロジェクトの活動自身及び成果物が、JAXA内外のパートナーとの協力体制の下で、製品・サービスなどにより、対象とする分野に対し最終的にもたらされる効果・効用

## 【参考2】

# 光データ中継システムプロジェクト移行 外部の専門家からの評価結果(1/5)



- プロジェクト移行審査に先立ち、プロジェクトの目的・目標や成功基準などに対し、外部の専門家の視点から評価を実施した。評価結果を以下に示す。

1. 日時:平成27年11月4日(水) 9:45-12:15

2. 評価委員およびオブザーバの構成

### 【評価委員】(50音順:敬称略)

東京大学 大学院工学系研究科教授	岩崎 晃
東海大学 情報通信学部 教授	高山 佳久
首都大学東京 システムデザイン学部 教授	福地 一
一般財団法人移動無線センター理事長	森永 規彦

### 【オブザーバ】(敬称略)

内閣府宇宙戦略室 参事官補佐	下岡 豊
総務省宇宙通信政策課 衛星開発推進官	後藤 祐介

### 3. 評価結果

以下に評価委員から頂いた評価結果について示す。

光データ中継システムについて、提示された評価対象文書に基づき以下のA)からD)の観点で評価を行った。光通信技術は、高速宇宙通信インフラの必須技術であり、我が国として獲得すべき技術である。評価を総括して、JAXAから提示されたプロジェクトの目的・目標・成功基準について、現時点で想定できるユーザーニーズや技術動向の観点等から、妥当と考える。ただし、以降に示す意見について、JAXA内で必要な検討をお願いしたい。

#### <評価の観点>

- A) 運用期間を通してユーザーニーズが根拠と共に明確に示されており、それらが妥当であるか。ユーザーニーズを踏まえた目的・目標となっているか。
- B) 正しく技術動向把握及びベンチマークがなされ、それらを踏まえた目的・目標となっているか。
- C) 光通信ネットワークの将来像(宇宙/地上間の光通信や将来のデータ中継衛星システムの大容量化含む)を踏まえて、技術実証及びユーザ宇宙機への利用拡大等段階的な目的・目標が設定されているか。
- D) ミッション目的・目標に照らして、アウトカム目標が明確な成功基準となっているか。

## 4. 評価委員からの意見(1/2)

No	評価委員からの意見
1	「ユーザ」には、光データ中継システムの通信相手方となるユーザ衛星とリモセンユーザなどのエンドユーザの2つの意味がある。プロジェクトの目的・目標が将来のエンドユーザのニーズを踏まえたものであることを明確にすべきである。
2	光データ中継システムの設計寿命が10年であることを考慮し、先進光学衛星にとどまらず、動画像ユーザをはじめとする、将来予想されるより広いユーザに役立つという説明も必要である。
3	通信相手方として、周回衛星だけでなく通信距離が遠い宇宙機(探査ミッションなど)との通信にも光通信システムが活用できるはずであり、この視点でユーザニーズをとらえることも必要である。
4	日米欧で通信方式や通信波長が異なる技術をそれぞれ選択している点について、各機関の選択理由や背景等を更に把握・検証することは、開発課題やリスクの正しい識別、互換性/相互運用性、及び将来の発展性を検討する上で必要である。
5	ユーザ衛星側の捕捉追尾技術など技術要素も全体システムの成立のためには重要であり、開発要素・開発リスク・技術成熟度等の説明が必要である。
6	今回通信実験を計画している衛星-地上間の光通信(地上とのフィーダリンク)は、光通信ネットワークの将来像を確立する上で、重要な技術要素である。 <ul style="list-style-type: none"> <li>地上との通信実験においては、光通信技術の標準化における日本の貢献に向けて、将来を見越した実験内容の工夫や、取得した実験データの積極的な提供を行っていくべきである。</li> <li>学術的な成果につながる実験等の取り組みについても、今後検討を詳細化させるべきである。</li> </ul>



## 【参考2】

# 光データ中継システムプロジェクト移行 外部の専門家からの評価結果(4/5)



## 4. 評価委員からの意見(2/2)

No	評価委員からの意見
7	捕捉追尾方式を含む光通信技術の標準化活動は、宇宙光通信技術分野で我が国がイニシアティブをとる上で、また互換性や相互運用性などユーザや使い方を広げる上で重要である。CCSDSでの調整に加え、米国NASA等光通信の開発を行っている海外宇宙機関とJAXAの実質的な関係も活用しながら戦略的に進めるべきである。
8	国内だけでなく、安心・安全につながる社会システムの構築など国際貢献に資する観点でのアウトカムも設定すべきである。
9	災害等の有事だけでなく、通信インフラとして平時利用の視点からのアウトカムも設定すべきである。
10	アウトカムの設定において、光データ中継システムプロジェクトのみのインフラ的観点だけではなく、ユーザ衛星を含めた複数のプロジェクトがトータルとして目的を達成していくというプログラム視点も必要である。
11	アウトカムの設定において、データ中継衛星の重要性(ALOSの経験から「なくてはならないシステム」である点など)を強調し、国民にわかりやすくその価値をアピールしていくべきである。
12	本光データ中継システムは、「静止衛星特有の圧倒的な広域性」と、「光通信特有の高速・大容量性」という他の追従を許さない2つの特性を融合させたシステムである。これらの特徴を踏まえたアウトカムを設定すべきである。

## 【参考2】

# 光データ中継システムプロジェクト移行 外部の専門家からの評価結果(5/5)



### 5. 意見へのJAXAの対応

- ① No1について、資料p12, 13のユーザニーズに反映した。
- ② No2、No8、No9、No10、No11、No12について、資料p26のアウトカムに反映した。
- ③ No3について、JAXA内関連部門および宇宙探査コミュニティとニーズの議論を継続的に行うと共に、必要な技術的要件を整理し、NICT及びNASA等の海外機関とも協力して準備することとしたい。
- ④ No4について、これまでも、海外技術動向について公開情報や論文、担当者との会合等を通じて、情報収集に努めてきているが、今後は上記の指摘された視点も踏まえた情報収集に努めるようにしたい。
- ⑤ No5について、指摘されているように、捕捉追尾技術は光衛星間通信システム技術を確立する上で必要なキー技術の一つとJAXAも認識しており、方式選定からシミュレーションによる検証等、着実に開発を進めている。現在までプリプロジェクトフェーズで、開発リスクを低減させるために技術分析に基づく技術成熟度から開発要素を洗い出し、要素試作により評価を行ってきている。
- ⑥ No6について、今回の光衛星間通信システムの軌道上実証においても、地上との通信(光ファイダリンク)実験をNICTと連携・協力して実施する計画であり、指摘を踏まえて実験内容や取得した実験データの提供についてNICTと協議を進める。
- ⑦ No7について、これまでも、CCSDSや米国NASA等海外宇宙機関の担当者レベルの情報交換の中で、互換性や相互運用性を模索しているが、今後も海外動向を注視・海外機関とのより一層密接な情報交換を行うこととする。