

# 光データ中継衛星の 検討状況について

平成26(2014)年9月16日

宇宙航空研究開発機構

理事 山本 静夫

第一衛星利用ミッション本部先進衛星技術開発室長  
中川 敬三

1. データ中継衛星の概要
2. データ中継衛星の必要性
3. データ中継衛星の発展
4. 光データ中継技術とそのメリット
5. 光データ中継衛星の利用計画
6. 開発体制
7. 研究開発スケジュール(案)

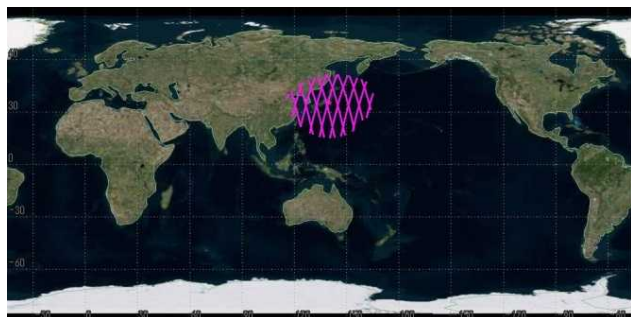
# 1. データ中継衛星の概要

## 【データ中継衛星】

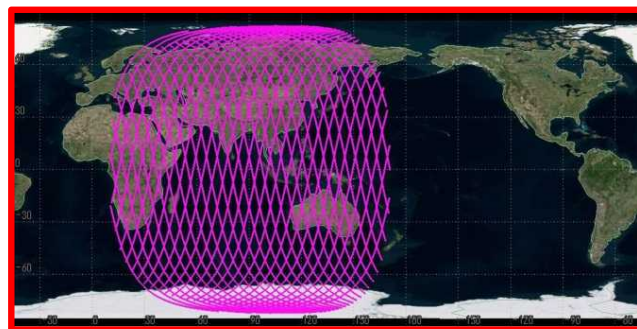
低高度(1000km以下)を周回する観測衛星、宇宙ステーションと地上局間の通信を中継する静止衛星である。

### ●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

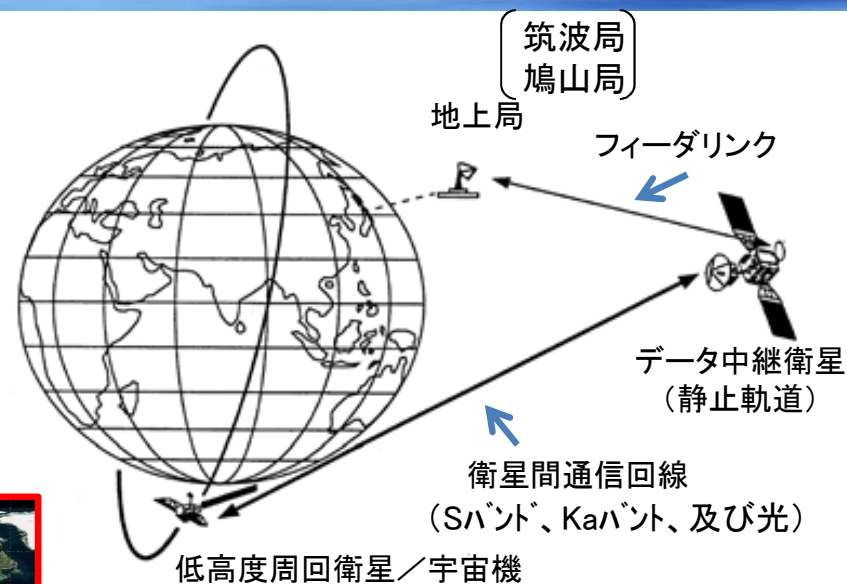
■データ中継衛星では広い可視領域が確保できる。DRTS「こだま」の軌道位置では、日本のEEZからアジア、中東、アフリカの一部までの広大な領域をカバーしている。

- ・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



衛星間通信の概念図

### <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DRTS経由で通信

## 2. データ中継衛星の必要性

データ中継衛星を使用することで、直接地上局と通信する場合と比較して、

(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

が可能となり、ユーザが要望する地球観測データ等の提供が可能となる。

【ユーザ】

- 災害対応に利用するユーザ
  - 災害対応機関：公官庁、政府機関
  - 災害チャータ等の国際フレームワーク
- 特定地域を常時/高頻度で観測するユーザ
- 広範囲な陸域・海域を管理するユーザ/サイエンティスト
  - 国土保全・管理・地図
  - 農業、海洋
  - 地殻変動、森林、冰雪圏
- 軌道上で実験/技術開発するユーザ
  - 国際宇宙ステーション：実験データ&映像
  - 小型衛星

陸域全体のベースマップの作成  
と高頻度な更新

【要望】

高精度・高分解能観測

高頻度観測

即応性  
リアルタイム性

広い  
通信可能領域

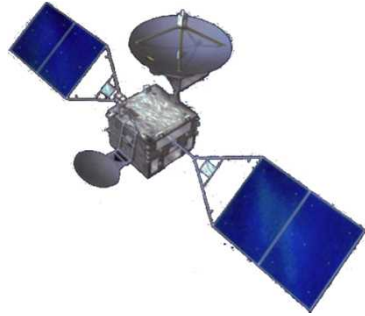
【期待される性能】

(1)長時間で高速な  
大容量通信

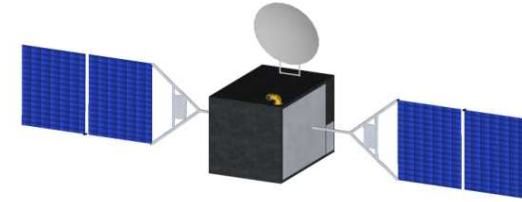
(2)広大な通信可能領域  
(地球上の半分をカバー)

# 3. データ中継衛星の発展

## JAXAデータ中継衛星構想



電波から光へ



### 光データ中継衛星

- 通信速度：1.8Gbps
- 衛星間通信に光（レーザ）を使用
- 2019(H31)年度打上げ予定

### データ中継技術衛星 「こだま」(DRTS)

- 通信速度：240Mbps
- 衛星間通信に電波（Ka帯）を使用
- 2002(H14)年打上げ

#### データ中継衛星「こだま」(DRTS)

2002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(マルチアクセス)ことが可能となる。(電波の場合、衛星搭載の大型アンテナ(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。)

# 4. 光データ中継技術とそのメリット(1/4)

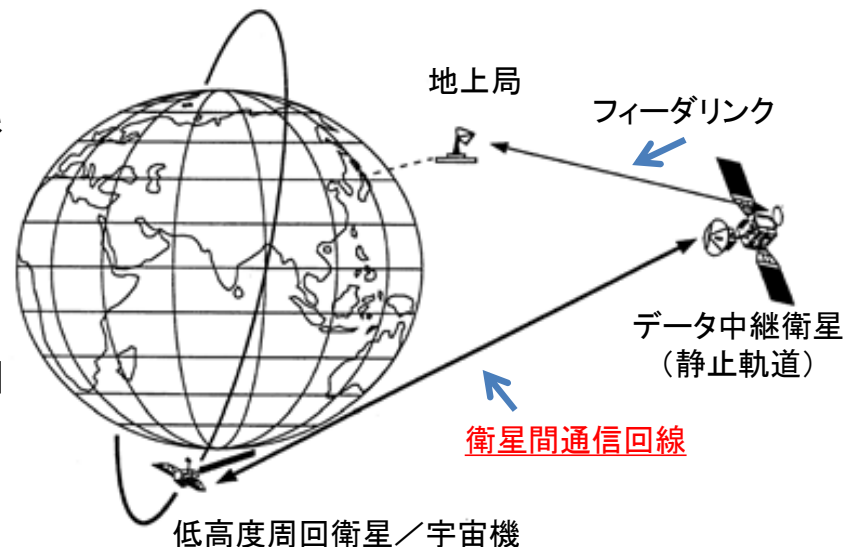
■光通信は以下の特徴を有しており、将来のデータ中継衛星システムの高性能化に大きく寄与する。

## 《光衛星間通信とは》

真空である宇宙空間をレーザ光線を用いて衛星等の宇宙機間で相互に通信する技術。

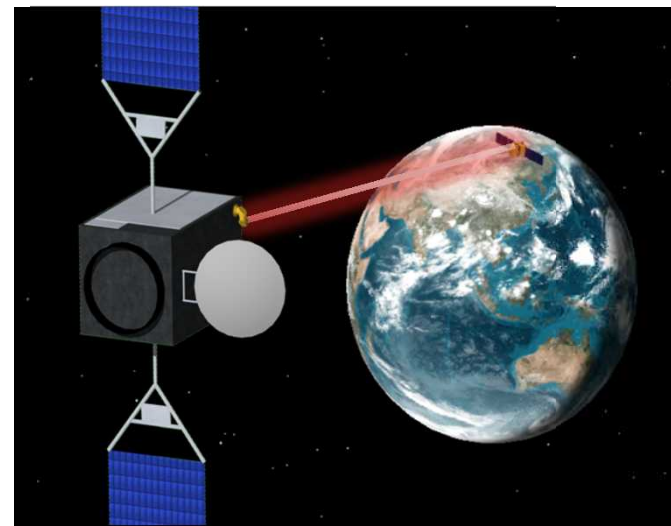
## 《光データ中継衛星では》

従来のデータ中継衛星では電波を用いてきた「衛星間通信回線」を光通信で実現する。



## 《光データ中継技術のメリット》

- ・高速通信: 高い周波数(光:  $\sim 200 \text{ THz} = 200,000 \text{ GHz}$ )により電波(Ka帯: 約20 GHz)よりも高速化が可能 ⇒ 今後のデータ量増大に対応
- ・小型、軽量、省電力 ⇒ 小型衛星への良好な搭載性
- ・他国・他計画との使用周波数帯の調整不要
- ・ビームが細く、妨害・傍受が困難

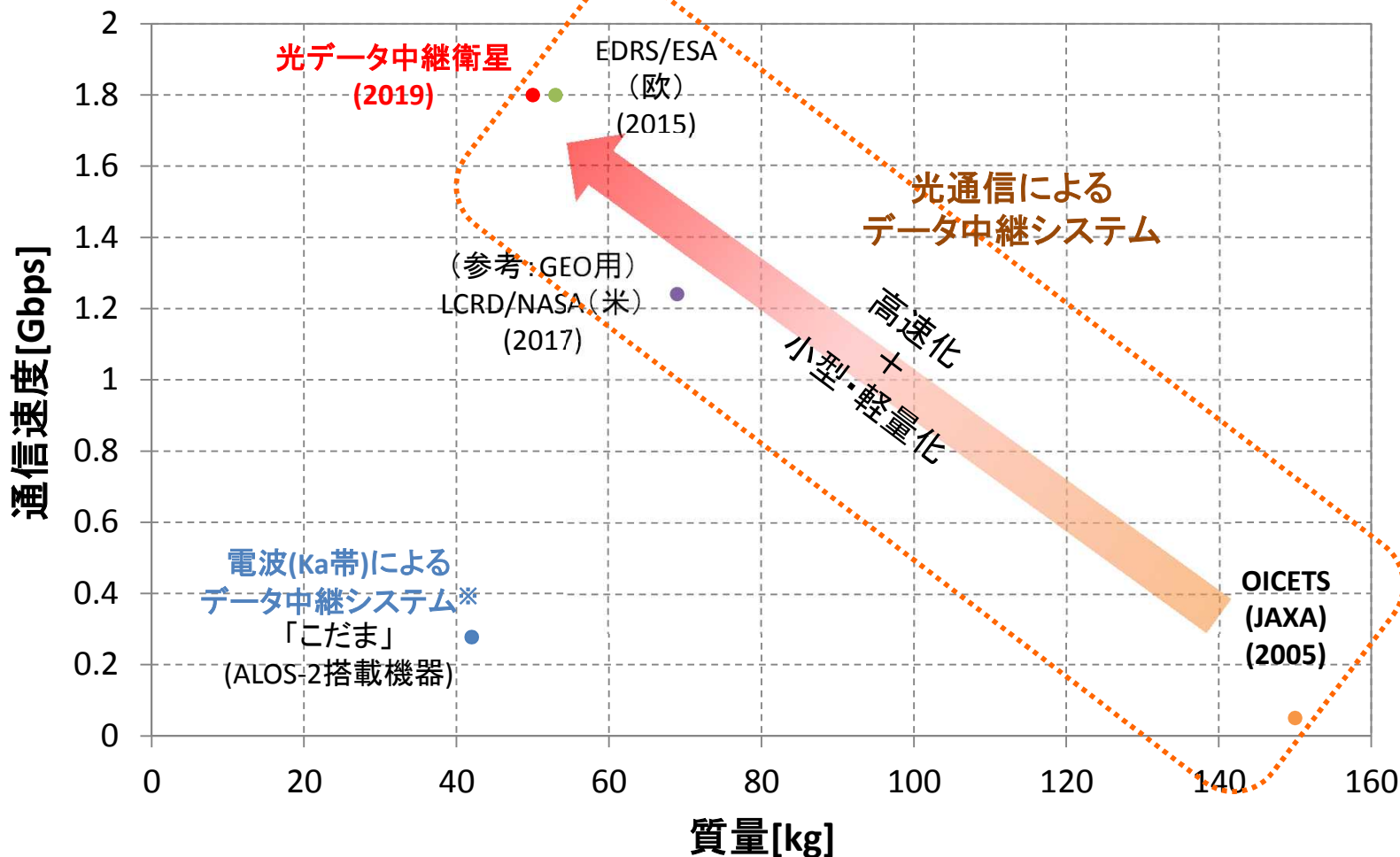


# 4. 光データ中継技術とそのメリット(2/4)

## ■ベンチマーク

- ①質量・通信速度ともに海外と比較して同等以上の性能を目指す。
- ②高速通信化・軽量化の両面で頭打ちとなりつつある電波によるデータ中継通信<sup>(※)</sup>のブレイクスルーとなる。

《ユーザ衛星(周回衛星)搭載ターミナルの比較》



《地球観測衛星の性能向上》

先進光学衛星 (2019)  
0.8~1.0m分解能/  
50~70 km観測幅

発生する観測データ:  
**1.3 Gbps程度(データ圧縮後)**

(0.8m分解能/50 km観測幅のパンクロセンサの場合)

↑

分解能の向上  
=観測データの増大

「だいち(ALOS)」 (2006)  
2.5m分解能/70 km観測幅  
(光学センサ:PRISM)

発生する観測データ:  
**240 Mbps(データ圧縮後)**

※ 電波(Ka帯)で更なる通信速度の高速化を図るためにはデータ中継衛星および周回衛星のアンテナの更なる大型化や高出力化(系統数の増加)が必要となり、衛星への搭載性の観点から今後大幅な通信速度の向上は期待できない。

# 4. 光データ中継技術とそのメリット(3/4)

## ■ 光衛星間通信実験衛星「きらり」(OICETS)

JAXAは2005(平成17)年に光衛星間通信実験衛星「きらり」(OICETS)により欧州宇宙機関(ESA)の静止衛星「ARTEMIS」の間で世界初の双方向衛星間光通信実験に成功した。(通信速度:最大50 Mbps)  
また、NICTと共同で「きらり」を用いた世界で初めて低高度周回衛星と地上間の光通信実験に成功した。

- 「きらり」の実績をもとに、光通信機器の小型・軽量化(150kg → 50kg) / 通信速度の向上(50 Mbps → 1.8Gbps)を図り、データ中継衛星に適用する。

《実現シナリオ》

「きらり」で獲得したキー技術

- ・捕捉追尾技術※
- ・宇宙用光学技術

+

通信容量増大 & 小型軽量化技術

- ・送信光パワーの向上
- ・高感度受信技術

※捕捉追尾技術: ビーム広がり小さいレーザ光線を用いて3万km以上離れた相互に移動する衛星間で通信リンクを確立するための光衛星間通信のキー技術

## ■ 「きらり」からの性能向上に寄与する技術

以下の技術は通信速度の向上への直接寄与に加えて、光アンテナの小径化(26 cm → 10 cm程度)とそれによる光通信機器全体の小型・軽量化、製作・加工難易度の低減に寄与する。これらの両技術は、世界最先端である我が国のレーザ技術や光ファイバ通信技術の成果を活用したものである。

### ① 送信光パワーの向上(100 mW → 5W)

「きらり」では半導体レーザの光をそのまま送信していたが、光ファイバ増幅器を用いることで送信光の高出力化を図る。



◀ 光増幅器  
(光ファイバ増幅器一次試作品)



# 4. 光データ中継技術とそのメリット(4/4)

## ■ 「きらり」からの性能向上に寄与する技術(つづき)

### ②高感度受信方式(350 photons/bit →40 photons/bit以下)

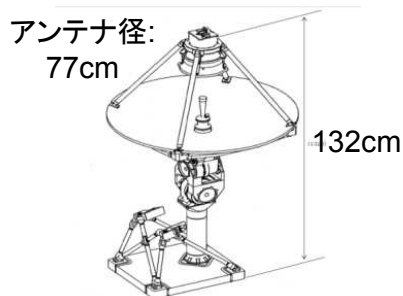
光の位相に信号をのせる方式(光位相変調方式)を用いる(「きらり」では光の強度を変化させる単純な方式を採用)。通信容量の向上を図りつつ、高感度受信を実現。

## ■ 光通信による性能の向上

### 電波による衛星間通信機器

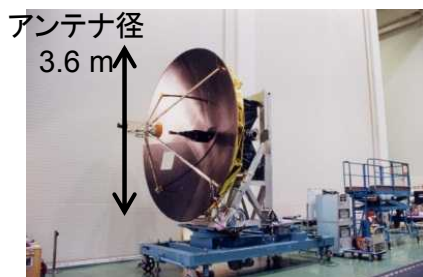
低軌道周回衛星用  
(地球観測衛星等)

約42 kg/最大 約200 W



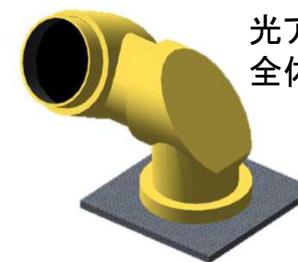
静止衛星用  
(データ中継衛星)

約260 kg/最大 約590 W



通信速度: 240 Mbps

### 光データ中継システム用衛星間通信機器(一例)



光アンテナ径: 10 cm 程度  
全体寸法: 50 cm前後

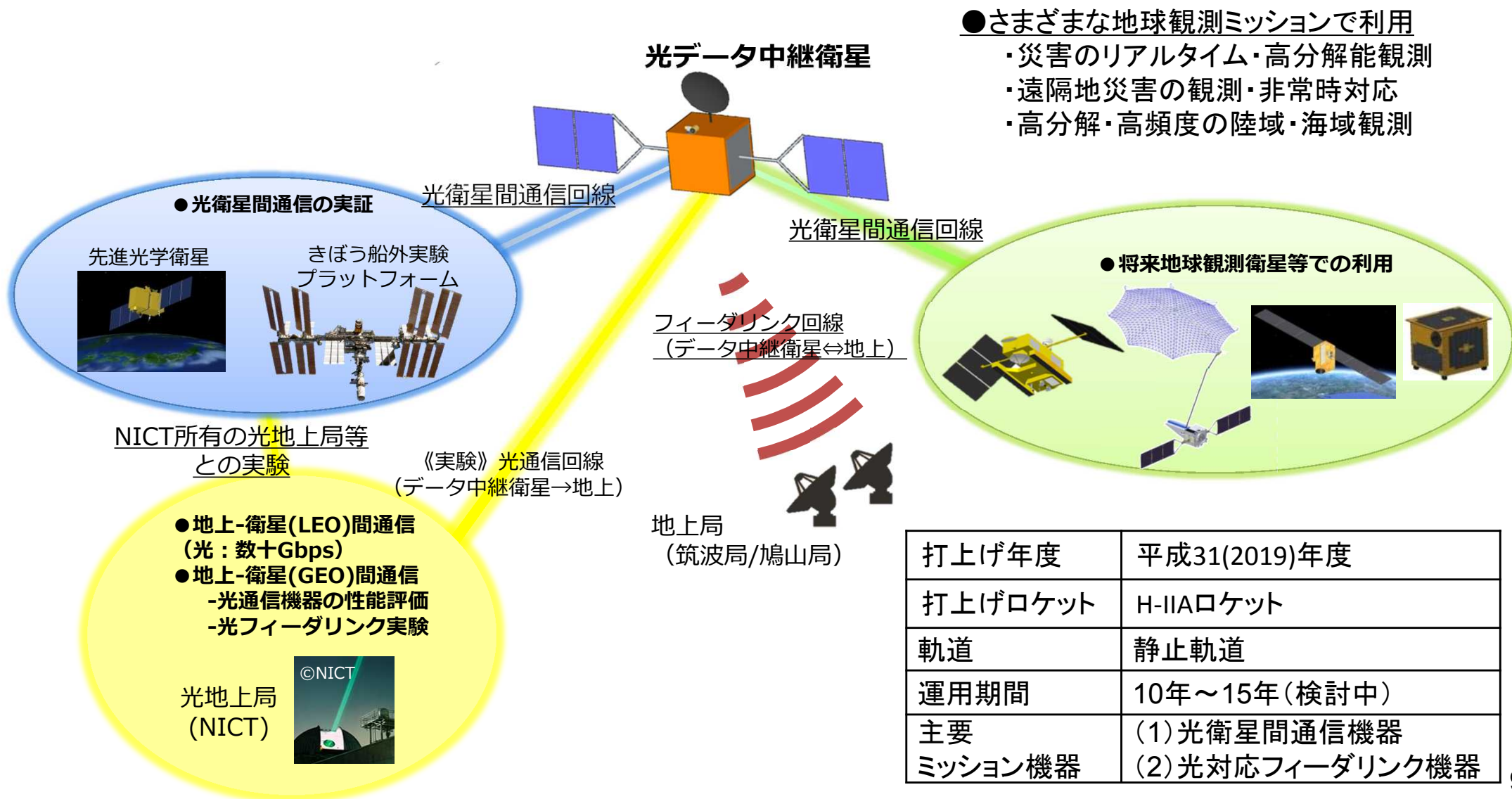
- ・低軌道周回衛星用(実証モデル)  
50 kg 程度 (⇔「きらり」では約150 kg)
- ・静止衛星用 80 kg程度

消費電力: とともに 180 W 程度(⇔「きらり」では約220W)

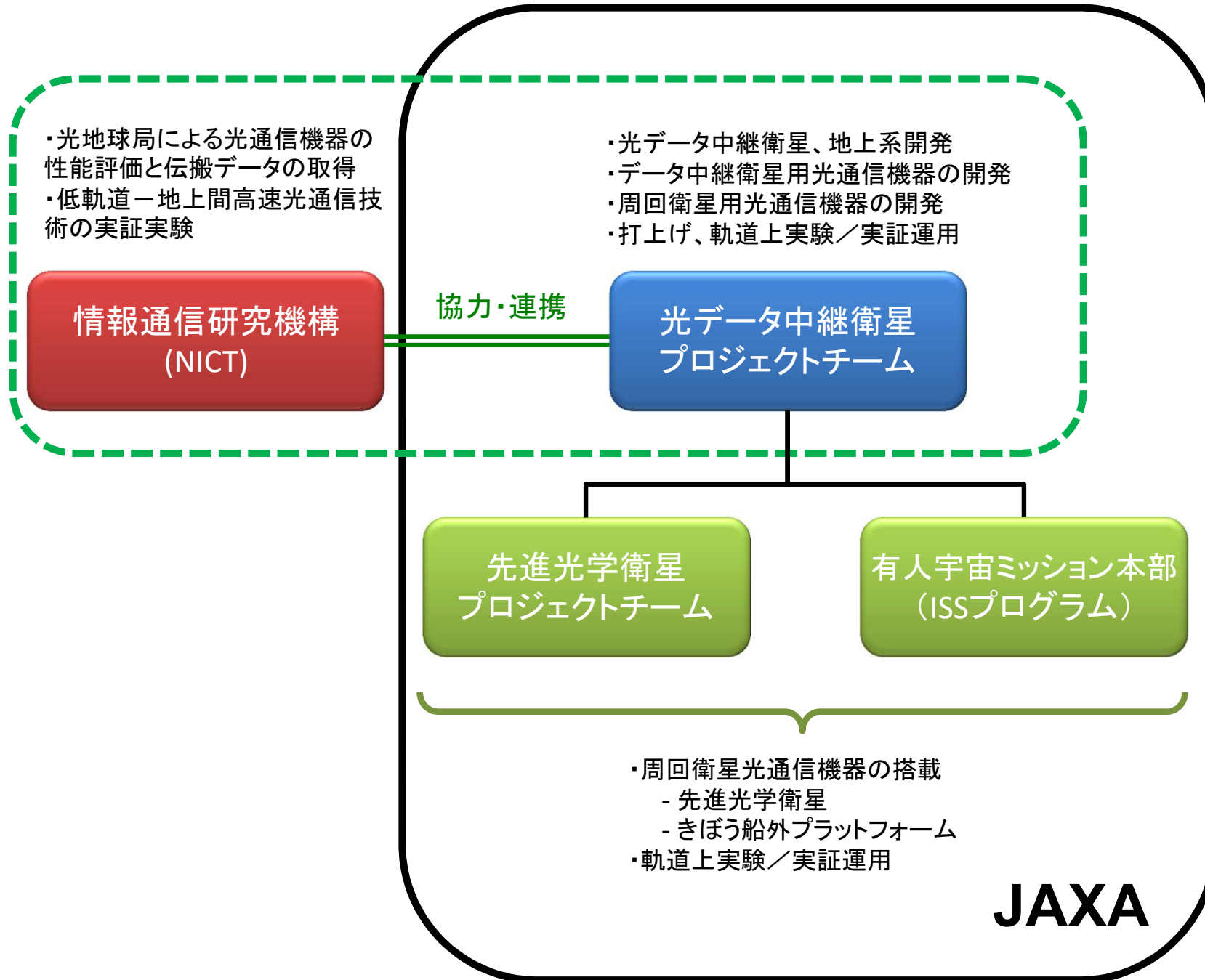
通信速度: 1.8 Gbps

# 5. 光データ中継衛星の利用計画

- 通信容量: 1.8Gbps
- 光データ中継衛星と先進光学衛星/「きぼう」船外プラットフォーム間での実証



# 6. 開発体制





# 補足資料

## ■ 光衛星間通信実験衛星「きらり」(OICETS)

JAXAは2005(平成17)年に光衛星間通信実験衛星「きらり」により欧州宇宙機関(ESA)の静止衛星「ARTEMIS」の間で世界初の双方向衛星間光通信実験に成功した。(通信速度:最大50 Mbps)  
また、NICTと共同で「きらり」を用いた世界で初めて低高度周回衛星と地上間の光通信実験に成功した。

- 光衛星間通信技術の実証プロジェクトとして位置付けられ、  
捕捉・追尾・指向技術<sup>(※)</sup>等の、光衛星間通信に必要な  
基盤技術を確立することが目的
- 2005年に打上げ
- ARTEMIS衛星との間で100回の光衛星間通信実験に成功。
- 世界で初めての低高度周回衛星-地上間光通信実験に成功

※捕捉追尾技術:ビーム広がり小さいレーザ光線を用いて3万km以上離れた相互に移動する衛星間で通信リンクを確立するための光衛星間通信のキー技術

衛星主要諸元

寸法	衛星本体: 0.78m × 1.1m × 1.5m(高さ) 光アンテナを含む全高 2.93m 太陽電池パドルを含めた全長 9.36m
質量	打上げ時 約570kg
軌道	円軌道(高度約610km、 軌道傾斜角:約98度)



◀ 光衛星間通信実験衛星「きらり」  
(衛星間通信実験イメージ図)



「きらり」搭載光衛星間通信機器  
(低軌道周回衛星用)

- ・アンテナ径: 26 cm
- ・高さ: 約 150 cm
- ・質量: 約 150 kg
- ・消費電力 約 220 W
- 通信速度 : 50 Mbps

## NASA (米航空宇宙局)

### ■ LLCD計画：2013年打上げ

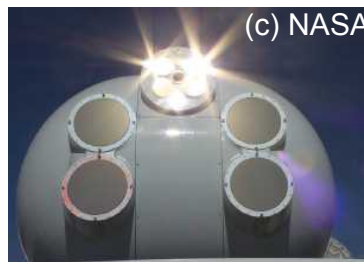
- 月探査ミッションLADEEに搭載
- 月-地上間通信実験を実施(成功)：622Mbps
- ニューメキシコ州ホワイトサンズにある地上局光通信局他と通信実験
- 大気による擾乱を訂正する誤り訂正符号の実証も実施



LADEE



10 cm 搭載ターミナル  
31 kg / 90 W



地上光通信局

### ■ LCRD計画：2017年打上げ予定

- 商用静止衛星にhosted-payloadとして搭載
- 静止衛星-地上を実施 (ISS搭載光通信機器との実験も計画中)
- 次世代データ中継衛星 (TDRS) に適用するシナリオ



(c) NASA



(c) JPL

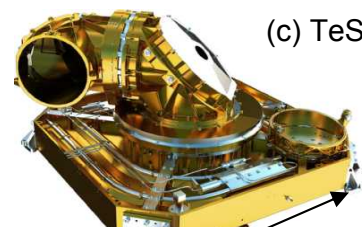
- 1.24Gbps  
(誤り訂正符号を含むと2.880 Gbps)
- 質量69 kg / 消費電力130 W

## ESA (欧州宇宙機関)

### ■ ESAのデータ中継衛星システム：EDRS

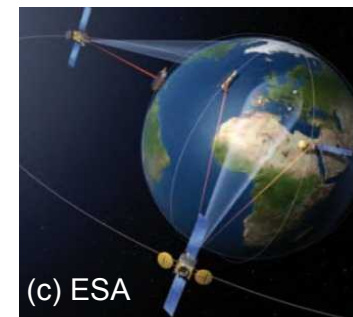
(ドイツの宇宙機関DLRも深くプログラムに関与)

Alphasat搭載光通信機器



(c) TeSAT

60 cm  
質量53 kg / 消費電力160 W



(c) ESA

<b>【事前実証】</b> Alphasat (2013打上げ)	《通信衛星へのhosted-payload》 ・衛星間通信回線 (実験) 300/600Mbps (データ中継回線) 1.8 Gbps (衛星間実験 (光通信) のみ)
<b>【実運用】</b> EDRS-A (2015打上げ 予定)	民間企業Airbus社 (旧Astrium社) によるサービス提供 ※  ・衛星間通信回線： - 光 (1.8G/600Mbps) - Ka帯 (150 - 300Mbps)
<b>【実運用】</b> EDRS-C (2016打上げ 予定)	上記EDRS-Aと合わせ2機運用体制 ※  ・衛星間通信回線： - 光 (1.8G/600Mbps) - Ka帯の搭載計画はない (現時点)

※主要ユーザはESAの地球観測衛星Sentinelシリーズ