

JAXAの宇宙開発 歴史と今後の展望

稲場典康
チーフエンジニア室長

05/24/2019 PMAJ例会

技術試験衛星VII型 (おりひめ・ひこぼし)[1997]

古典力学の徹底理解と活用

“Man in Space”

for retrieval, repair, assembling.....etc.)



©NASA



©NASA

技術試験衛星VII型(おりひめ・ひこぼし)



©JAXA

無人宇宙機関
自動ランデブ・ドッキング

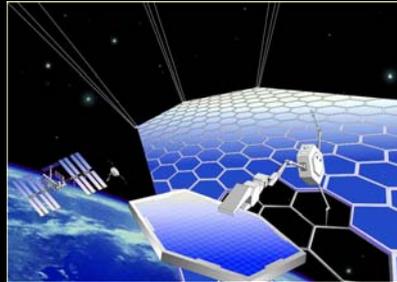
組立・修理等
遠隔操作型宇宙ロボット



©JAXA



衛星の捕獲



大型宇宙施設の組立・保全



宇宙ゴミの除去

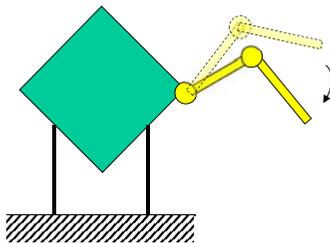
©JAXA

毛利さんの宇宙教室(1/2)



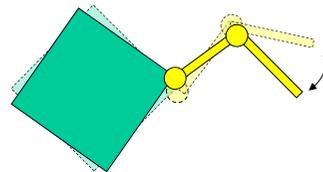
©JAXA

地上ロボットと宇宙ロボット



地上

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{J}\dot{\Phi}$$



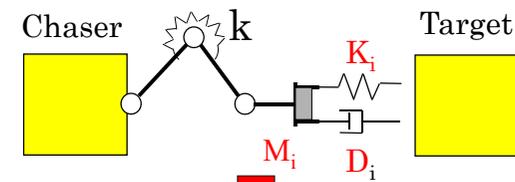
宇宙

$$\dot{\mathbf{x}} = (\mathbf{J}_m - \mathbf{J}_s \mathbf{I}_s^{-1} \mathbf{I}_m) \dot{\Phi} \equiv \mathbf{J}^* \dot{\Phi}$$

Y.Umetani, K.Yoshida 1990

7

Impedance Control



Choosing $[\mathbf{M}_i, \mathbf{D}_i, \mathbf{K}_i]$

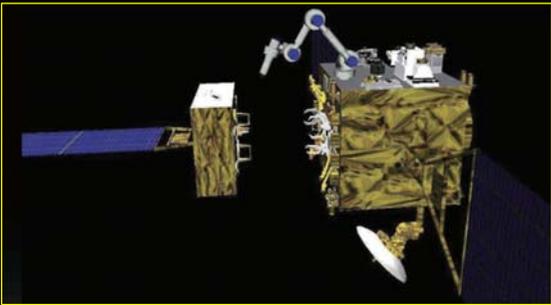
- Avoid pushing off
- Stabilization after capture

$$M_i \Delta \ddot{\mathbf{x}} + D_i \Delta \dot{\mathbf{x}} + K_i \Delta \mathbf{x} = F_e$$

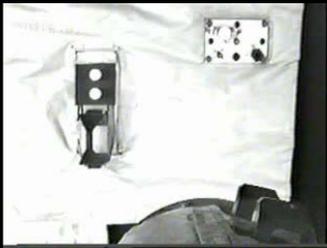
$$\tau = -H^* J^{*-1} [J \dot{\Phi} + M_i^{-1} (D_i \Delta \dot{\mathbf{x}} + K_i \Delta \mathbf{x})] + (H^* J^{*-1} M_i^{-1} - J^{*T}) F_e + C$$

N. Inaba, 2003

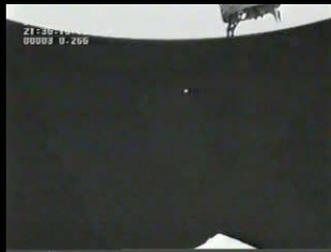
8



ETS-VII(1997)



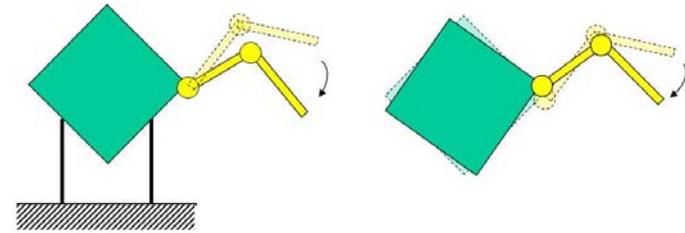
Hand Camera



Shoulder Camera

©JAXA

必要な演算数(6自由度の場合)



地上

宇宙

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{J}\dot{\Phi}$$

$$\dot{\mathbf{x}} = (\mathbf{J}_m - \mathbf{J}_s \mathbf{I}_s^{-1} \mathbf{I}_m) \dot{\Phi} \equiv \mathbf{J}^* \dot{\Phi}$$

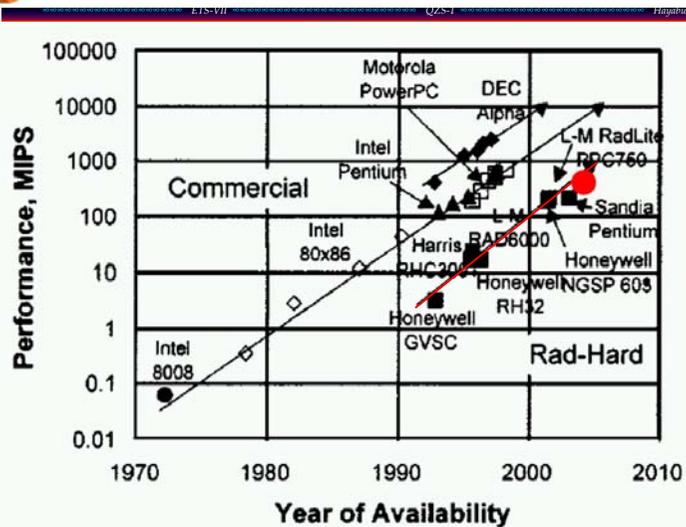
257

2543

10



Moore's Law in Space



Lacoe et. al., IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. 47, No.6, pp 2334-2341, Dec. 2000より引用

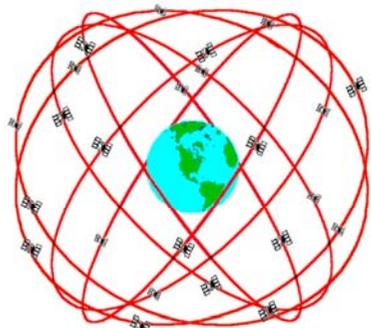
11

準天頂衛星初号機 [2010]

宇宙用原子時計と
一般相対性理論

1. GPSの概要

The Navstar GPS Operation Constellation

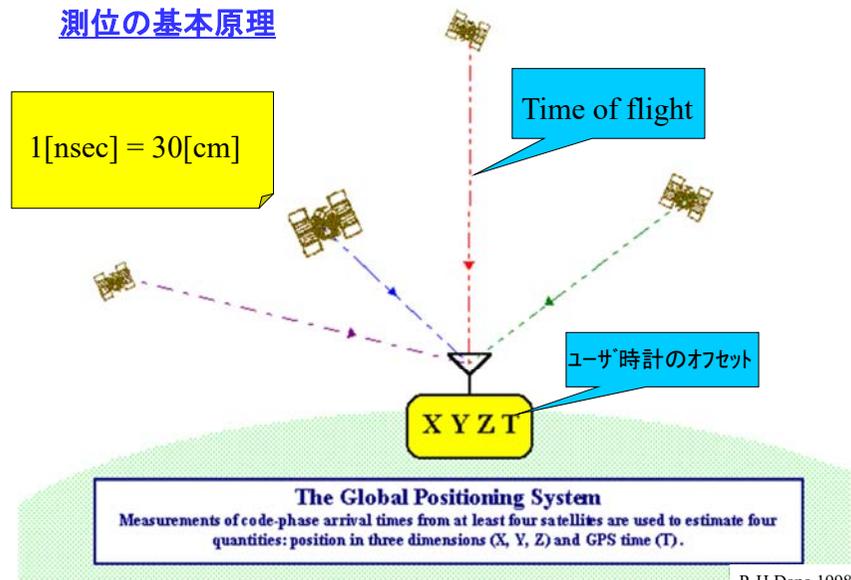


GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination
P. H Dana 1998

軌道	6つの円軌道
軌道傾斜角	55[deg]
衛星数	4×6=24機
軌道半径	26561[km]
周期	12[恒星時間]

- ・初号期1972年
- ・宇宙用電子時計(Rb,Cs)

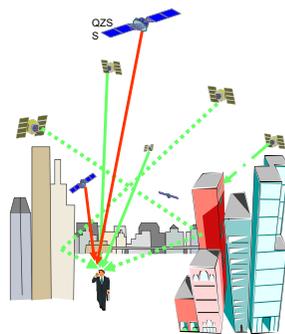
測位の基本原理



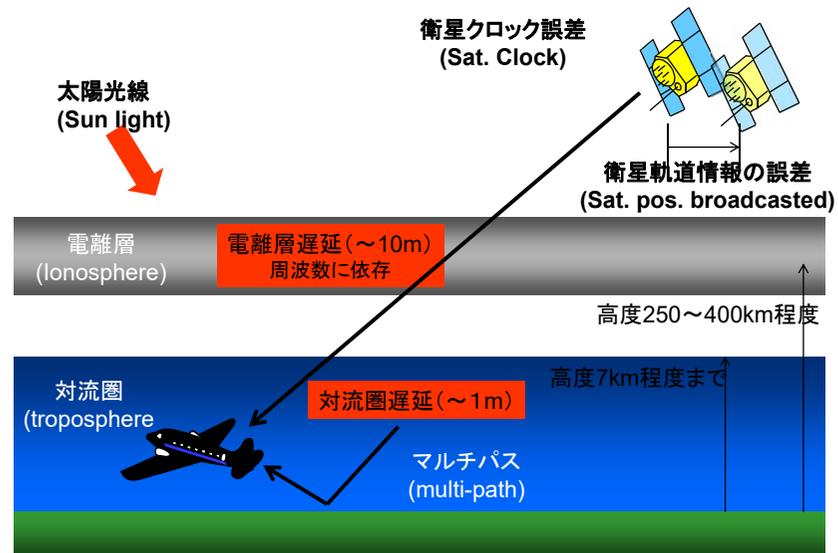
QZSSの効果



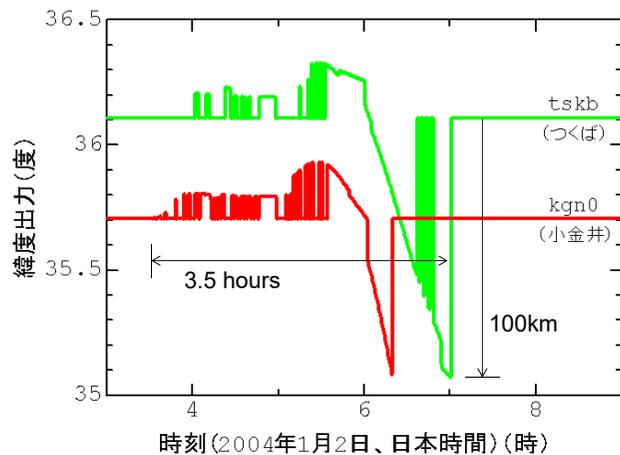
銀座四丁目



誤差の要因 (Error Sources)



GPS Anomaly



©ENRI

- Jan./02/'04 Anomaly GPS-PRN23
- 3.5Hours to integrity Announcement

GPSと相対性理論 (Relativistic effect on GPS)

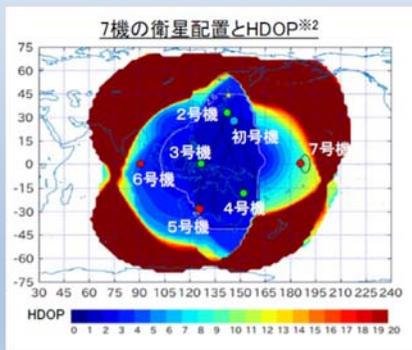
Constant	Description	Units
F	$F = \frac{-2\sqrt{\mu}}{c^2} = -4.442807633 \times 10^{-10}$	$[\frac{s}{\sqrt{m}}]$

IS-QZSS

準天頂衛星システムの現状と将来構想



2018.11.1 四機体制によるサービス開始 (内閣HPより)

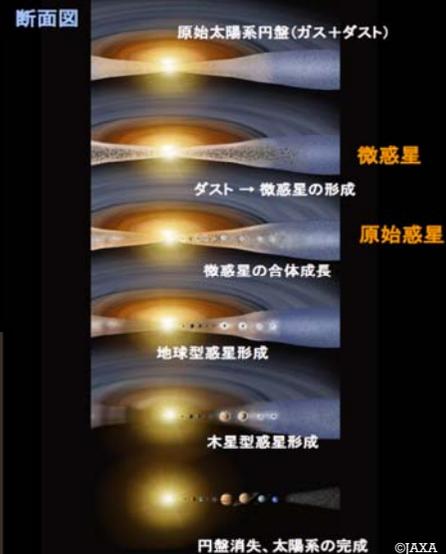


7機体制構想 (2019.1.23 内閣府資料より)
[準天頂衛星システムのみでの測位が可能]

はやぶさ2 [2014]

我々はどこから来て何処にゆくのか?
「システム」の進化・知能化

1. はやぶさ2の目的 (ミッション)



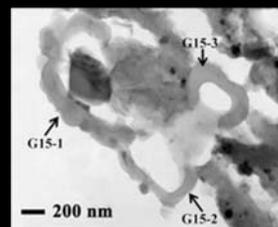
原始太陽系物質？

微惑星から惑星
への成長過程？



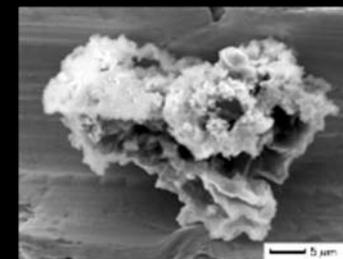
水
有機物

HAYABUSA2 ONC 画像

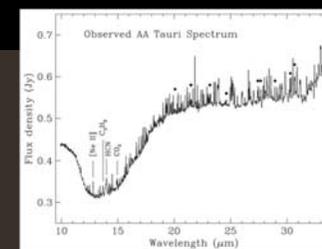


隕石中の膜状有機物

Nakamura-Messenger+ (2006)

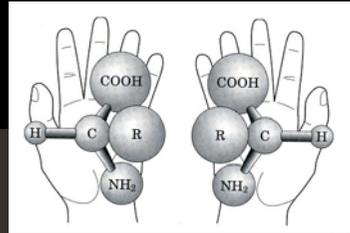


炭素質微隕石 Yabuta+ (2012)



原始惑星系円盤の有機分子(中間赤外) Carr & Najita (2008)

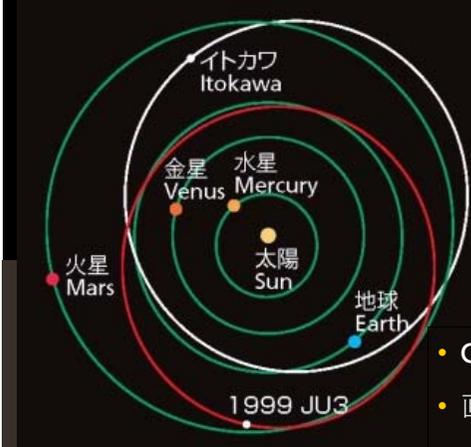
我々は何処から来て何処に行くのか



「はやぶさ2」ファクトシート

- 太陽系の外から生物学者がやってきたとしよう。彼らはまず、それらのすべてが殆ど同じ素材で構成されているのに気づく。同じ分子は常に同じ動きを持ち、遺伝子の暗号表さえ共通である。(カール・セーガン)

探査対象天体：1999 JU₃(RYUGU)

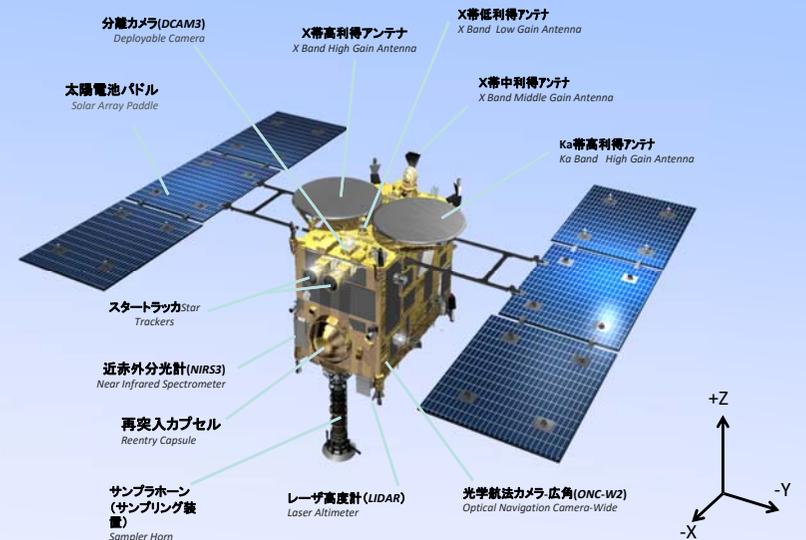


- C型 (含水鉱物・有機物含む)
- 直径 0.9 km (ほぼ球形)
- 自転周期 7.62時間 (軸の向き?)

「旅」のデザイン



機器名称



宇宙システム開発の特徴

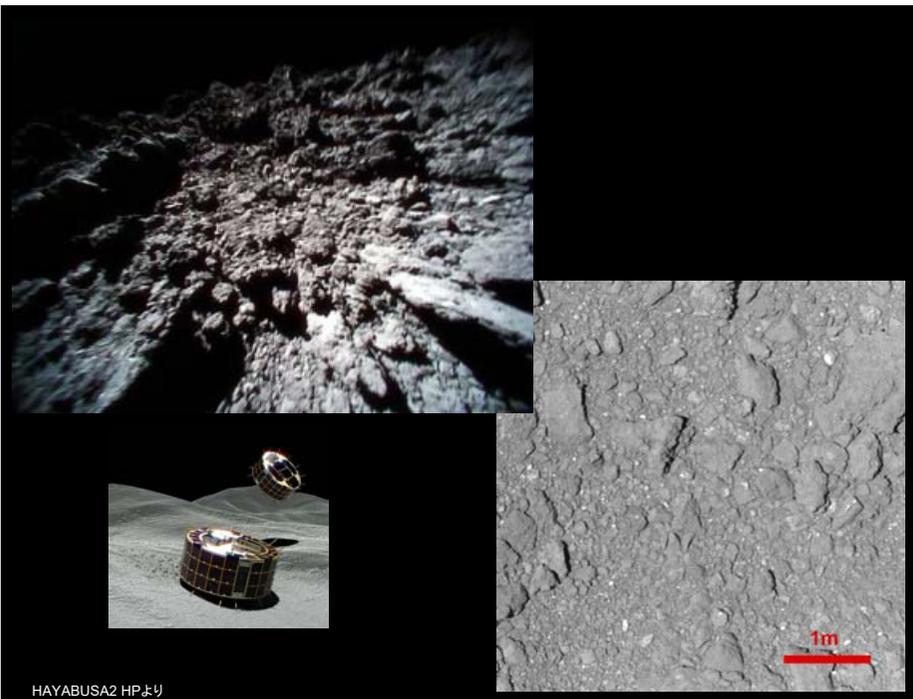
- システムの特徴
 - 大規模（部品数：数十万点）
 - 極限環境（真空、放射線、大温度差、地球との通信制約）
 - 非修理系
 - 一品物
- 開発プロセスの特徴
 - 積上げ型・段階的開発。
 - 実証主義。（"Test as you fly. Fly as you test".）
 - 実績品重視（"Better is the enemy of good".）

29

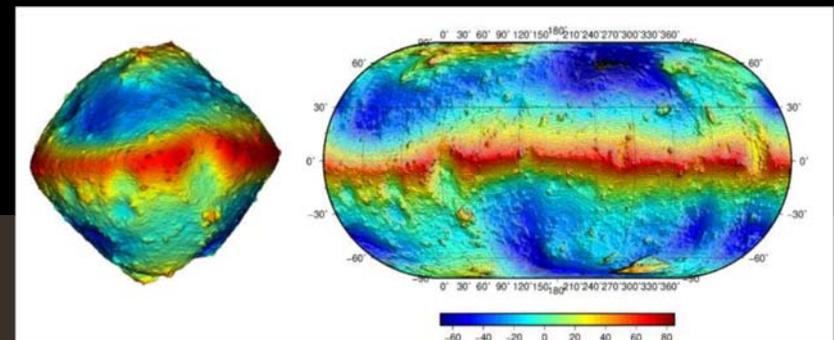
宇宙「探査」の特殊性

- 探査 = 未知の環境を調べる
- 開発時に予見しきれない小惑星の環境
 - 自転軸の方向
 - レーザの反射率
 - 重力
 - 表面温度
 - 地表状況（凹凸、岩石の数・大きさ、分布状態）
 - 地表硬度・・・等

30

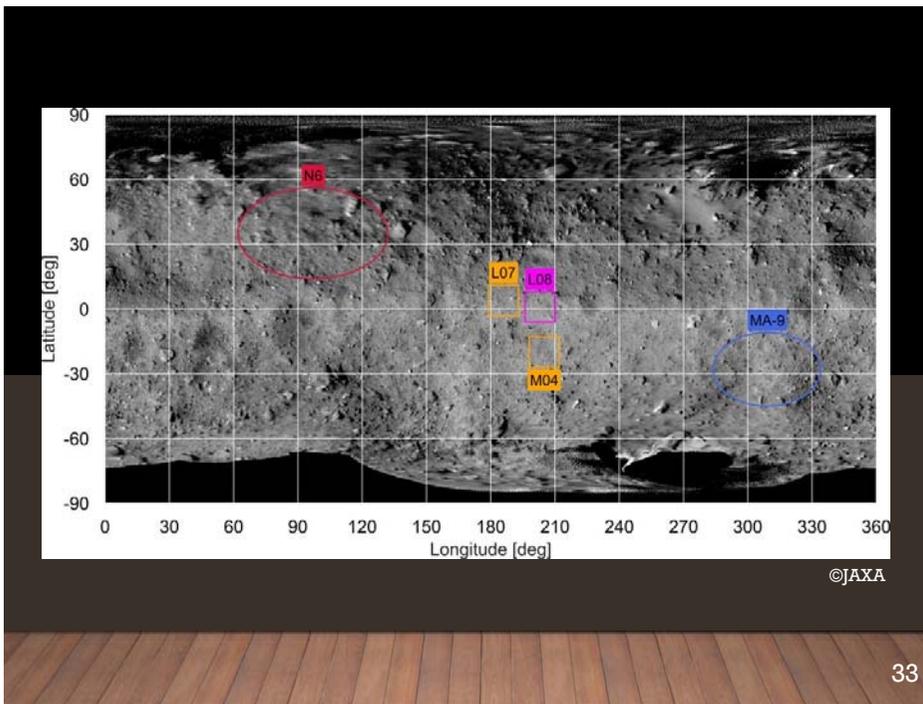


タッチダウンの準備



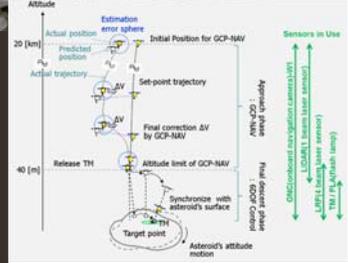
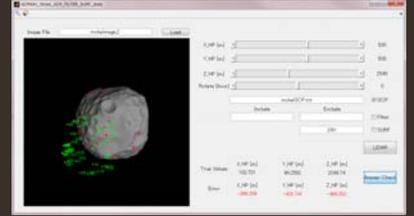
©JAXA

32



運用計画の調整・訓練



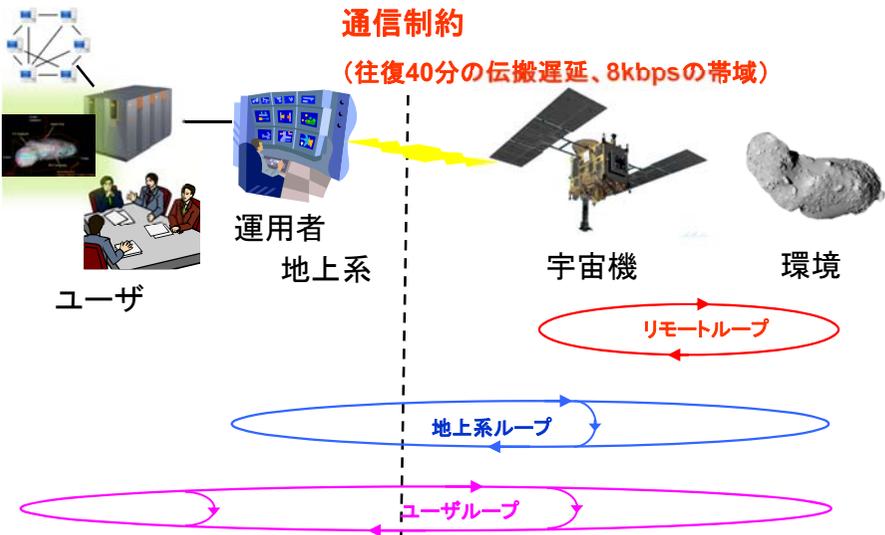
©JAXA

安全に、そして果敢に

- 環境を把握し、地上の環境モデルを更新。
- 環境モデルを使い運用を計画、検証。
 - 経路（環境）を選択
 - 機器調整（誘導制御則・パラメタの選択）
- 上記と、想定外事象時の安全状態への退避方法を探査機へ教示
(高度250m以下の降下は完全自律)

宇宙システムの構造

通信制約
(往復40分の伝搬遅延、8kbpsの帯域)



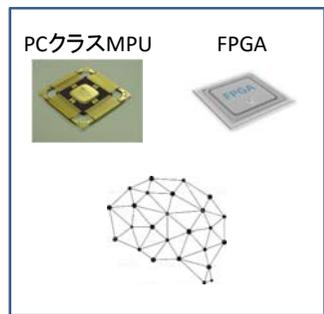
Sheridan's Supervisory Control ³⁶

宇宙システムと地上システムの共通フレームワーク例

地上系(クラウドAI)



宇宙機(エッジAI)



帯域
時間遅れ
制約

アクチュエータ センサ(視覚・力覚)

