

## はやぶさ2の快挙第2段報告

“はやぶさ2”はリュウグウの狭い地にインパクトによる人工クレータ作製に成功した。  
素晴らしく世界に誇れる快挙を大いに称えましょう！

2019. 4. 5

小嶋一郎

NPO法人宇宙アドバイザー協会正会員

IHIOB

宇宙環境に学ぶサークル所属

注：日本人は誉める事に慣れていない、この成功を大いに称えましょう。

# はやぶさ2の快挙

1. 2019.2.22にリュウグウのピンポイントに着地成功して岩石採取に成功した事に続き、はやぶさ初号機でも経験していなかったミッション、インパクトによる人工クレータ作製に成功素晴らしい!!
2. 世界で初めてのこの難題をクリアした、日本は小惑星探査に関して一歩も二歩も世界をリードした。
3. 初号機でのトラブル克服により順調な飛行と多くのミッション達成は順調である。このプロジェクトを支える先生方の努力を誉め称えたい。
4. 今後人工クレータで作られた宇宙線等に汚染されていない物質の採取があるがこの成功は時間の問題と考えます。

# はやぶさ2による人工クレータの作製は太陽系の歴史を知る大きなミッションである

## 1. 人工クレータの作製の意義

はやぶさ2による人工クレータの作製は46億年前、太陽系形成初期を保った地下の物質を採取するのが狙い、太古の物質がどのようなものかを理解出来れば太陽系の歴史の謎に迫れると期待される。

## 2. 太陽系誕生の謎解明、物質採取の最大の目的

誕生間もない太陽系では宇宙空間を漂うガスやちりが集まって多数の小さな塊ができた。これらが衝突を繰り返して大きな塊に成長して惑星が生まれたと言われる。

ガスは主に水素とヘリウムだがそれ以外の物質がないと地球などの惑星は出来なかった。どんな物質が材料になったかを知ることが、物質採取の最大の目的です。

小惑星の地表の物質は太陽光を浴びたり、宇宙線と言われる粒子や隕石などが衝突したりして変質している。地下の物質はこうした影響を免れ、大古の状態をより良好に維持しているため学術的な価値が高い。クレータを作れば汚染を免れた岩石等の採取が出来る。

# 日本は製造国のみならず独創的で創造能力、技術を待つ国であると世界は評価するでしょう

1. はやぶさ2の帰還は2020年の末であるが、これら作業は「はやぶさ初号機」で実績があり成功間違いなと考える。
2. 21世紀の我々への課題の達成  
21世紀の日本は技術力がある技術立国にふさわしい国造りを目指さねばならない。  
“成熟社会に向け存在感のある日本を目指す“その第一歩をはやぶさ成功は示してくれた、その意義は大である。
3. 後継機はやぶさ2のミッション  
はやぶさ2号機は初号機の快挙を受け継ぎ、2014年12月3日6年間52億kmの旅に出発した。帰還後世界は日本は素晴らしい製造国のみならず独創的な創造能力、技術を待っていると称賛するはず・・。
4. 21世紀の我々への課題は身近となった。

はやぶさ2の最終目的は2020年末にオーストラリアの砂漠に帰還する事であるがもっとも困難な課題、インパクターによる人工クレータをリュウグウ上に設ける事に無事成功した。

### 1. リュウグウのピンポイントに着地成功 (2019.2.22)

今回ははやぶさ初号機が失敗を繰り返した轍を見事クリヤーしそのプレッシャーの中で、成功に導いた関係者の連携を称えましょう。

岩石でいっぱいの地、直径6m以内のピンポイントに着地した事です。

### 2. はやぶさ初号機で経験していないインパクターによる宇宙線等により汚染されていない物質の採取のための作業クレータ作成に成功、万歳!! (2019.4.5)。

このミッションは今回の探査での最も困難な課題、重要案件であった。

### 3. 最終はインパクターによる宇宙線等の汚染を受けていない物質を採取して2020年末にオーストラリアの砂漠に帰還しサンプリング資料を日本に持ち帰る事、この帰還は初号機で経験済であるが成功をお祈りしたい。



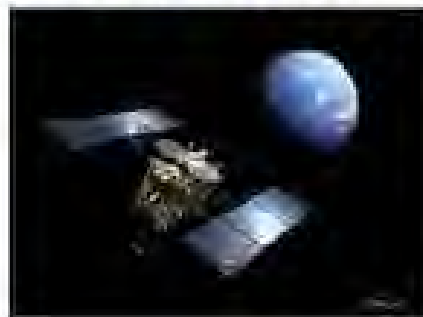
はやぶさ2

# ミッションの流れ概要



打上げ

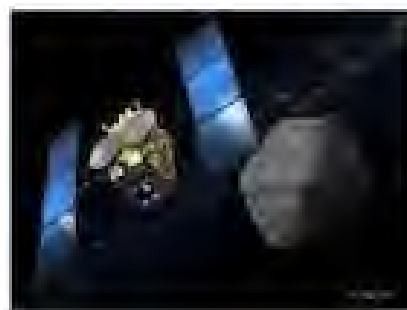
2014年12月3日



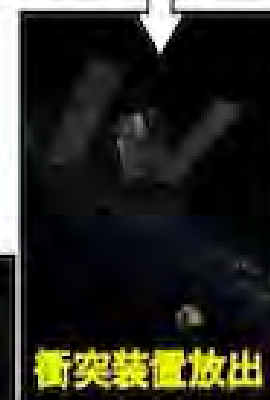
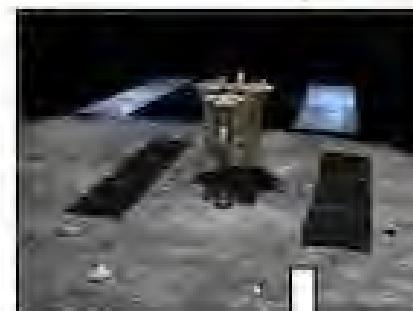
▲地球スイングバイ  
2015年12月3日

→ 小惑星到着

2018年6月27日



リモートセンシング観測によって、小惑星を調べる。その後、小型ローバや小型着陸機を切り離す。さらに表面からサンプルを取得する。



衝突装置放出



人工クレーターの生成

安全を確認後、クレーターにタッチダウンを行い、地下物質を採取する。

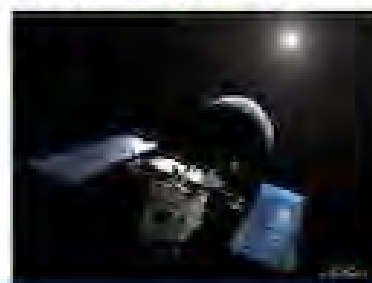
衝突装置によって、小惑星表面に人工的なクレーターを作る。

(イラスト 池下章裕氏)

地球帰還 ← 小惑星出発

2020年末ごろ

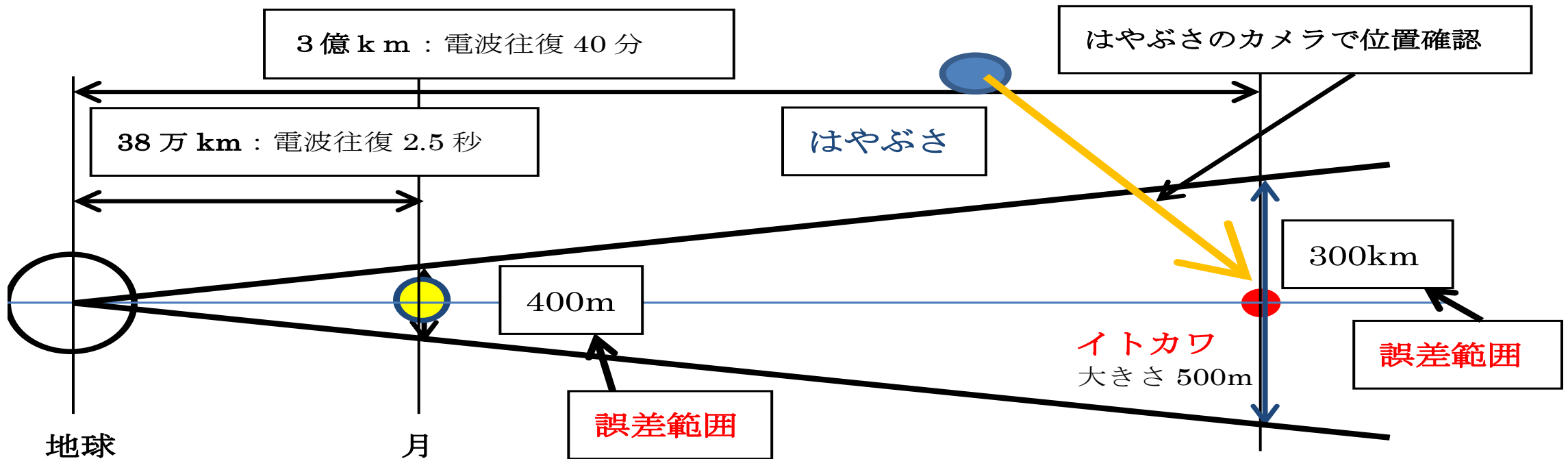
2019年11-12月



サンプル分析

# 光学航法とは、はやぶさ初号機の例、この技術を受け継ぐ

3 億 km 離れた 500m のはやぶさをどのようにして捉えたか？（光学航法）



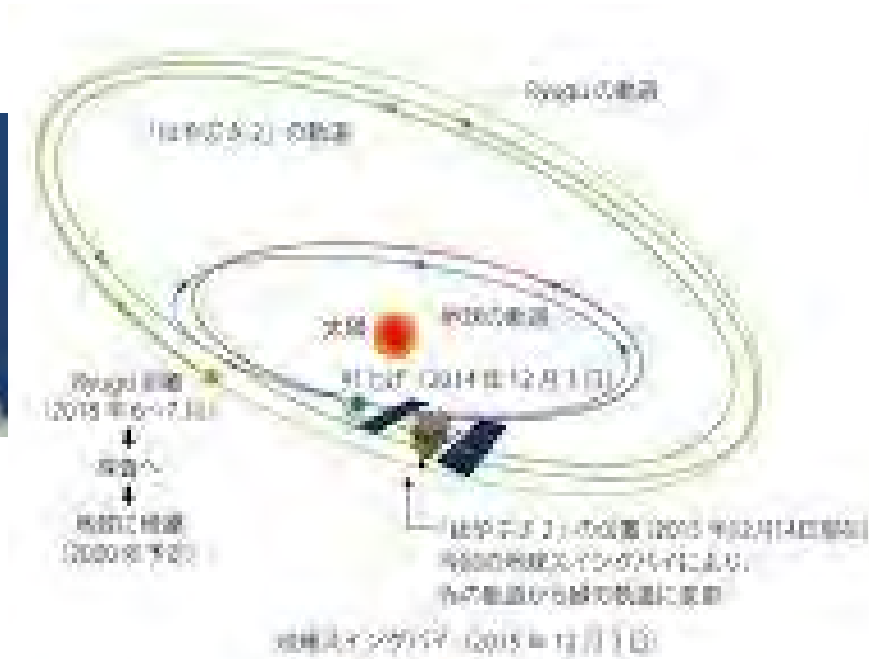
電波での精度

はやぶさがどこを飛んでいるかは約 300km の誤差、月ならば 400m の誤差  
イトカワの位置をはやぶさのカメラで測り、地球からの距離と重ねて位置を  
計算した結果 300km から 1km に絞られた。

# はやぶさ2

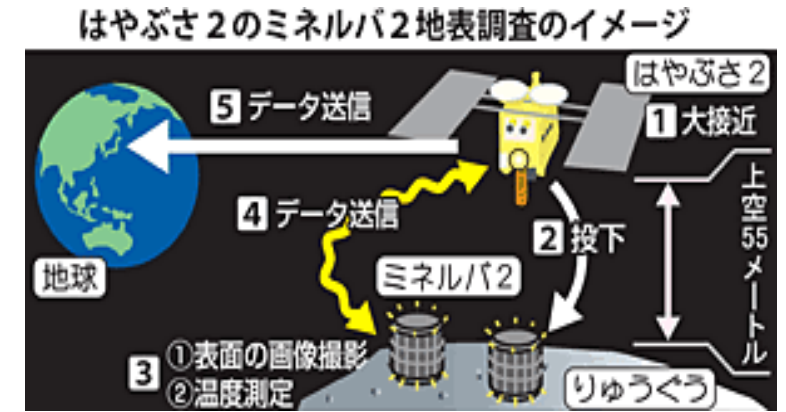


2014年12月3日13時22分  
H-2Aロケットで打上



はやぶさ2とリュウグウ

スイングバイによる航法



はやぶさ2からミネルバ投下



5個のターゲットマーカー

# 小惑星の分布帯

(総数は約数百万個)

## 太陽系の起源・進化

下記の順により始原的になり太陽系の初期迫る

### 太陽からの距離に依存順

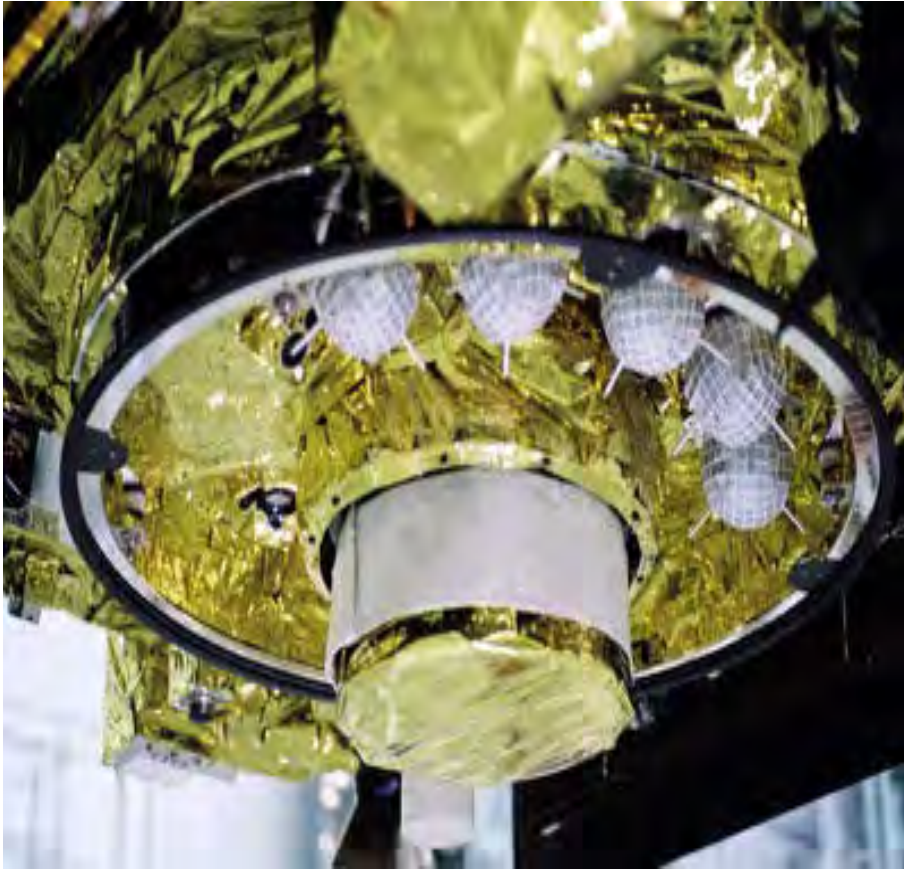
- ・S型(ケイ素質)
- ・C型(含水鉱物、有機質)
- ・D型、P型(より始原的なタイプ)

太陽系起源と進化の解明、生命の原材料物質調査

- ・イトカワ: S型
- ・1999JU3小惑星(りゅうぐう): C型
- ・次期探査: D型



# はやぶさ2搭載18万人の名前を刻んだ5個のターゲットマーカー リュウグウの表面は岩石でいっぱい



CJAXA

- 小型探査ロボットが23日に撮影した小惑星リュウグウの表面の画像。上部の白いものは太陽光＝宇宙航空研究開発機構提供



CJAXA

探査機はやぶさ2の底面に付けられた5個のターゲットマーカー＝宇宙航空研究開発機構提供

[http://www.jaxa.jp/press/2018/10/20181025\\_hayabusa2\\_j.html](http://www.jaxa.jp/press/2018/10/20181025_hayabusa2_j.html)

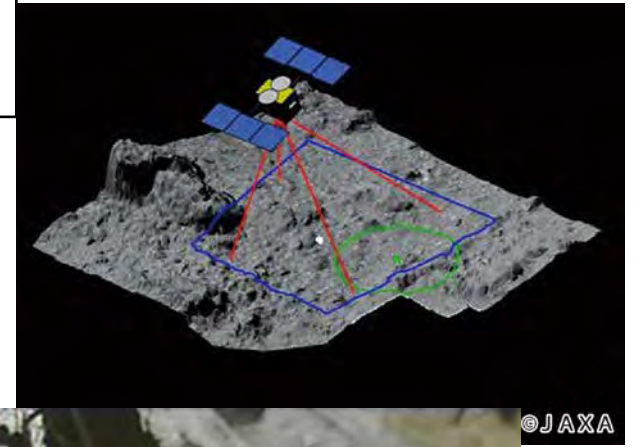
# リュウグウ採取岩石分析にて太陽系起源の謎を解明



①<降下中>時刻：2/22 07:26 / 高度：約8.5m



2019年2月22日着地時の採取岩石(実像)  
(JAXA提供)



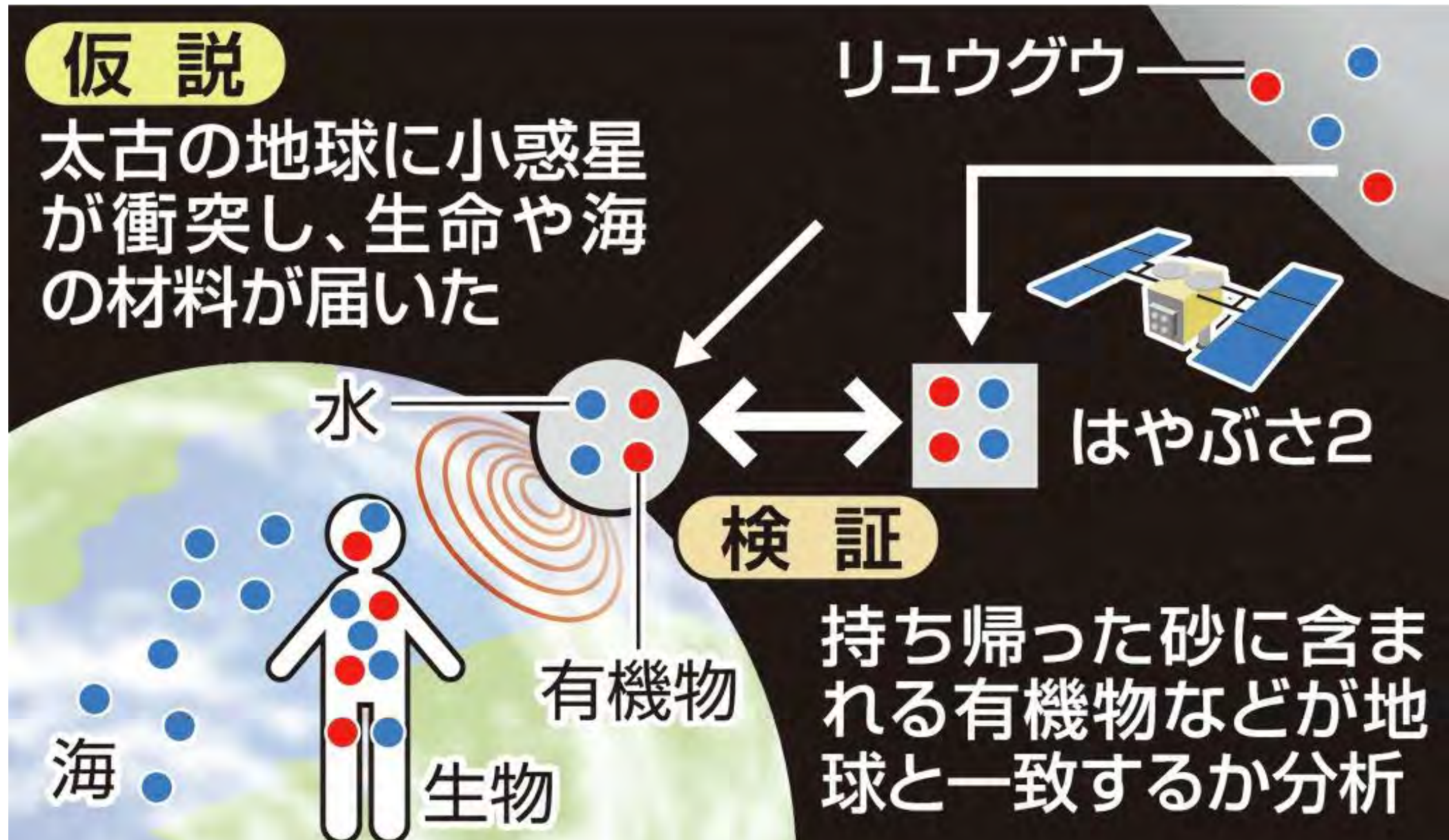
今回のインパクタで採取した岩石等(予測CG)

日本に持ち帰って、両者間の差異に注目が集まる。

少し深いところに生命の源となる水が多くある可能性大と予測されるとされる。

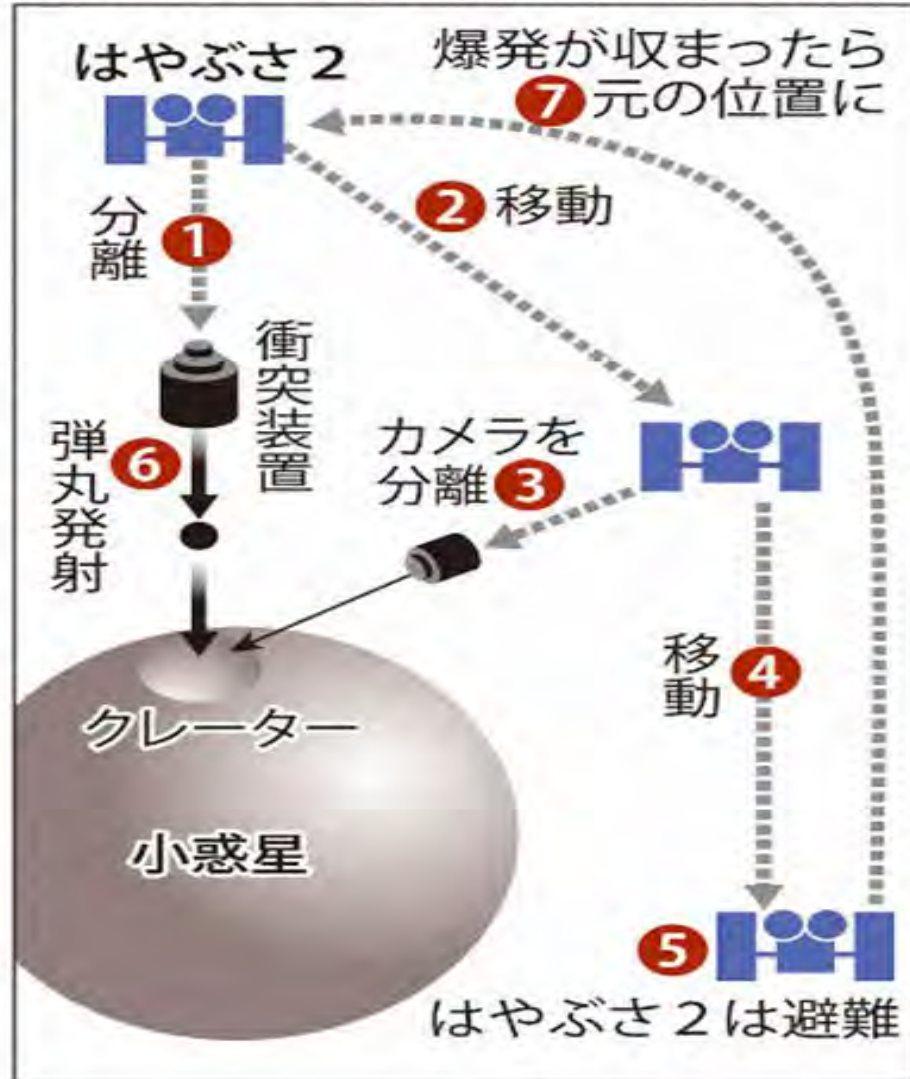
すなわちリュウグウ表面の岩石とインパクタにて造られた人工クレータでの岩石との成分比較で実態が分かる興味大。

# 生命の起源解明が期待される「はやぶさ2」



# インパクトによる岩石採取

はやぶさ2の衝突装置運用の流れ



＊人工クレータ作製見事成功今後は・・・＊

小惑星への衝突実験の実施は世界初。重さ2キロの銅の球を小惑星表面にぶつけることによって、地中の物質をあらわにする計画。今後この人工クレータに着陸し、物質を採取できれば、太陽や宇宙線などの影響を受けていない「生」の物質を分析できると期待される。衝突装置は、先代の探査機はやぶさには搭載されていなかった新規の装置。円すい形のステンレス製のケースに約5キロの爆薬が詰められ、底の部分に銅板がはめこまれている。はやぶさ2から分離して約40分後、爆薬を爆発させる。撃ち出された銅板がやがて球状に変形し、秒速2キロでリュウグウ表面に衝突する。その間、はやぶさ2は衝突装置の爆発の影響を受けたり、リュウグウから跳ね上がる岩石の破片にぶつかったりしないように、リュウグウの陰に移動して隠れる。

リュウグウに銅の球がぶつかり、その衝撃で表面の物質が拡散してクレータができる様子は、事前に分離しておく小型カメラ「DCAM3」で撮影する。

衝突装置(SCI)分離から  
ホームポジション復帰まで

空間での動き

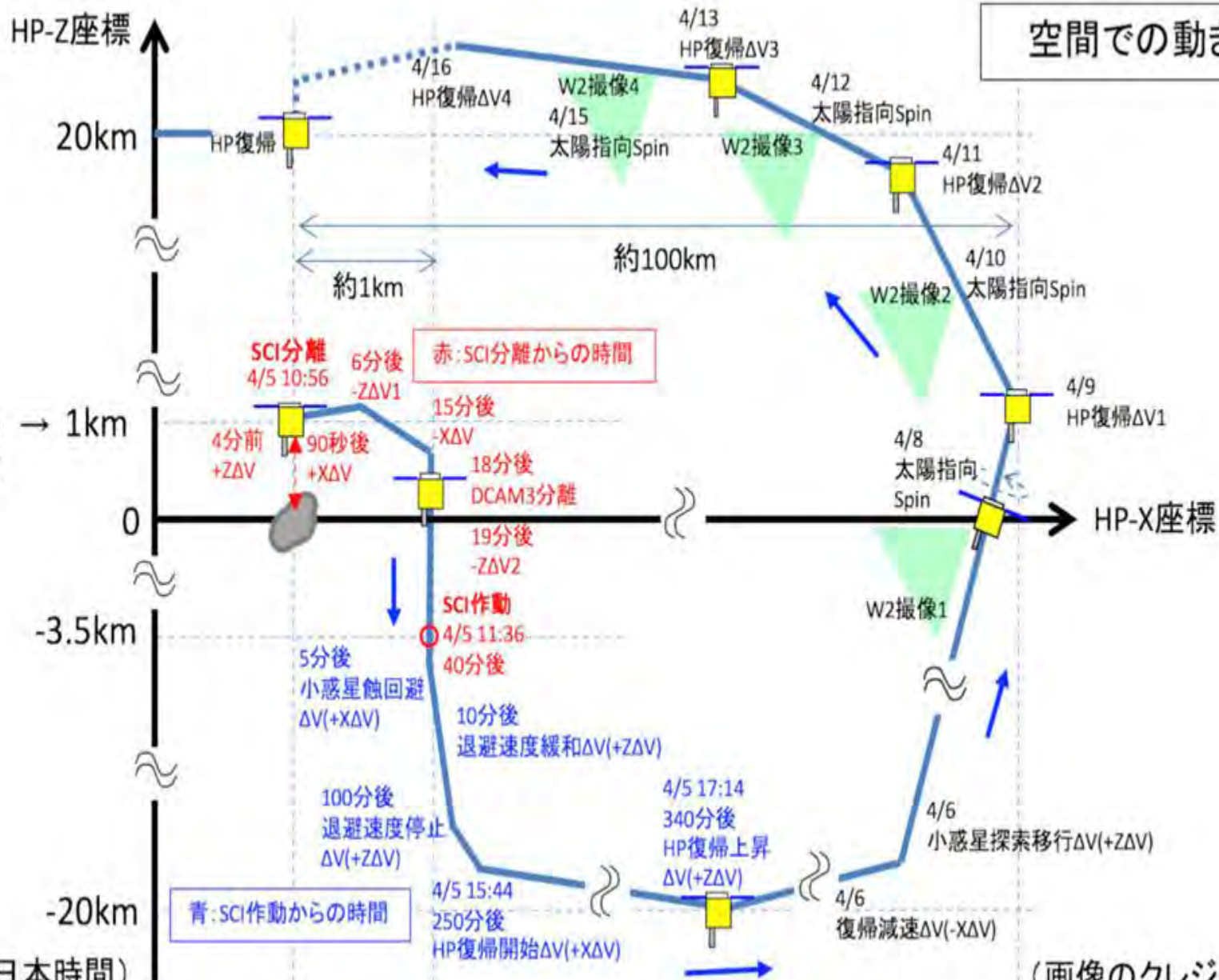
SCI分離時:

- ・探査機は14cm/sで上昇
- ・SCIの分離速度(下向き)は20cm/s

DCAM3分離時:

- ・探査機は64cm/sで下降
- ・DCAM3の分離速度(上向き)は70cm/s

(時刻:機上、日本時間)



(画像のクレジット:JAXA)

# “はやぶさ2”のインパクトによるリュウグウでの物質の採取ミッション

## 衝突運用概要

- 衝突装置は作動時に破片(速度: ~数km/s)を四散させる。また、衝突体が小惑星表面に着弾すると、土壌が放出される。そのため、着陸帰還機は衝突装置分離後、小惑星の陰に退避する。

### ① デブリ回避

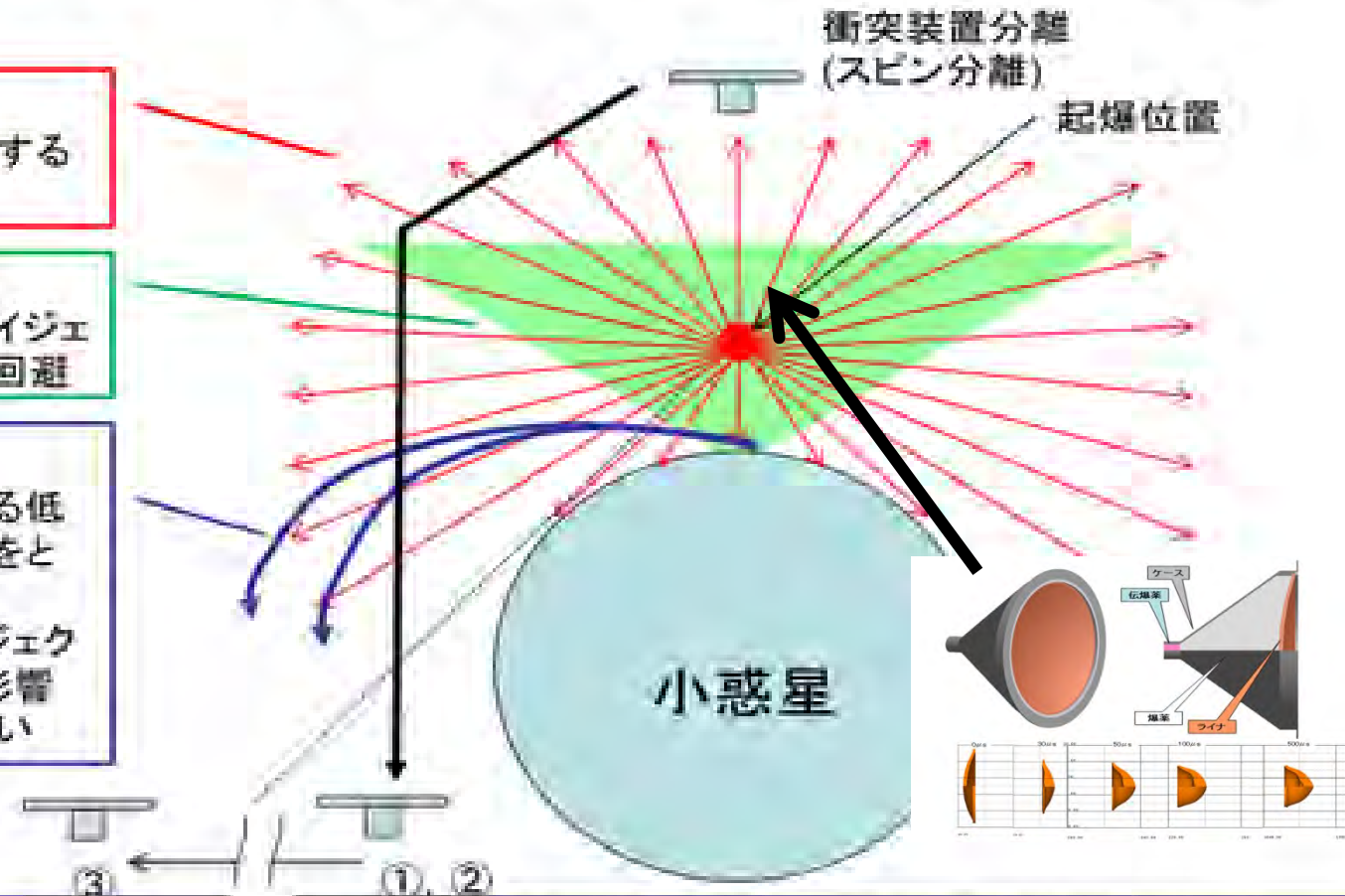
搭載型衝突機の起爆時に飛散するデブリは小惑星の陰で回避

### ② 高速イジェクタ回避

衝突体衝突時に発生する高速イジェクタは①とともに小惑星の影で回避

### ③ 低速イジェクタ回避

軌道運動を行って回り込んでくる低速イジェクタは小惑星との距離をとることで回避。  
超高高度まで飛散する低速イジェクタは速度が小さいため衝突の影響は小さいうえに、衝突確率は低い



## はやぶさ2 町工場の匠のワザの一例



インパクターの製作

### 銅板とステンレス鋼板溶接

#### 1. ステンレス鋼板製作

厚さ1mmに削り込む加工技術

#### 2. ステンレス鋼板と銅板溶接

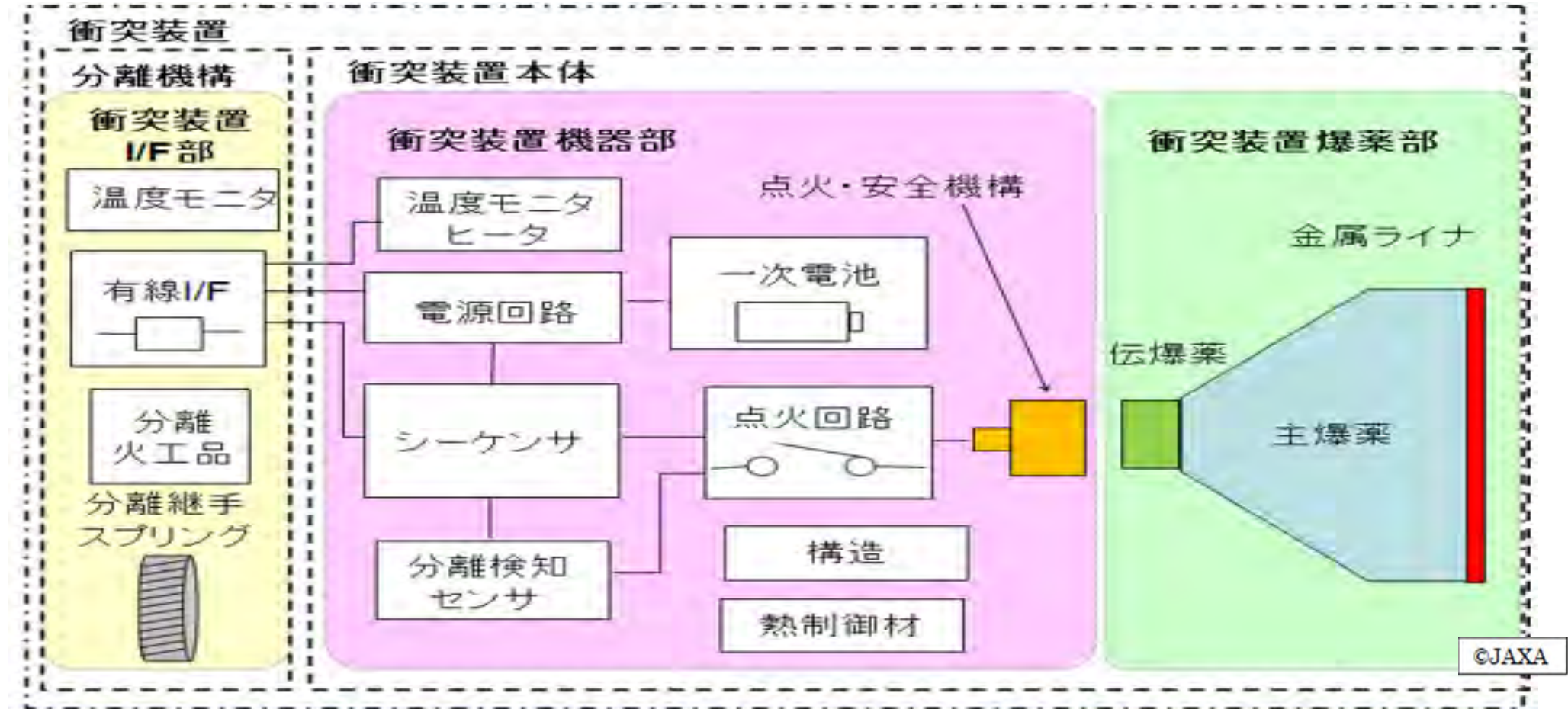
電子ビーム溶接

熱収縮を計算しての溶接技術

### 日本の誇り

はやぶさの成功の裏には日本の匠のワザがある事も忘れてはならない、誇るべき物づくりの技術です

# はやぶさ2インパクト



小惑星 直径 約 1 k m へのインパクト命中手順

- ①高度 5 0 0 m 分離、**放出速度 20 cm / 秒 程度**
- ②約 4 0 分間降下、この間にはやぶさ 2 退避
- ③高度 1 0 0 ~ 2 0 0 m 間でシーケンサにて衝突体発射

# はやぶさ2の目的(ミッション)

## 1. 初号機「はやぶさ」の後継機として小惑星サンプルリターンを行う。

「はやぶさ」は世界で初めて小惑星からその表面物質を持ち帰ることに成功したが、そのミッションには多くのトラブルがあった。「はやぶさ2」では、「はやぶさ」の経験を生かして、よりトラブルの少ない確実なミッションを目指した。

## 2. 「科学的意義」、「技術的意義」、「探査としての意義」を持つ

2.1「我々はどこから来たのか」

2.2「技術で世界をリードする」

2.3「フロンティアへの挑戦」

## 3. 具体的には

### 1. 太陽系の物質進化過程の謎解きC型小惑星の物質科学的特性を調べる。

特に鉱物-水-有機物の相互作用を明らかにする。

### 2. 微惑星の物理進化過程の謎解き小惑星の再集積過程・内部構造・地下物質の直接探査により小惑星の形成過程を調べる。

### 3. 深宇宙サンプルリターン探査技術の確立「はやぶさ」での新しい技術について、ロバスト性、確実性、運用性を向上させ、技術として成熟させる。

### 4. 宇宙衝突探査技術の実証衝突体を天体に衝突させる実証を行う。

# はやぶさ2は苦しい中での誕生となった

## 1. 事業仕分けに会う（開発予算）

はやぶさ初号機のいろいろの失敗を受け、ちょうど日本政府は事業仕分けの真只中、当初予算は削減された。「**事業仕分け**」で予算は減額となつての活動。

## 2. 岩石に満たされた小惑星リュウグウへの着陸

「はやぶさ2」2014年12月の打ち上げ以来、地球から3億4000万キロ離れた小惑星の半径約3メートルの領域にピンポイントで着陸するという高度な技術力を見せつけた、そんな中2019年2月22日に小惑星リュウグウへの着陸に成功し、サンプル取得した。2020年末に地球に試料を持ち帰るまで困難なミッションが続く。

## 3. 太陽系探査は次の順で難しくなる

①**フライバイ（突入）** ②**ランデブー** ③**着陸** ④**サンプルリターン。**

兎に角ハイリスクハイリターンの案件、初号機では日本の関係者間のみならずNASAの関係者間でも成功を疑っていたものでした。

# はやぶさ初号機の奇跡的帰還と成果と2号機への期待

## 1. はやぶさ初号機の奇跡的帰還と成果

「はやぶさ初号機は多くの至難を乗り越えて奇跡的に帰還した成果の意味するもの」

①技術立国の証明

②日本は製造国のみならず独創的な創造能力の発信

・50年～100年先の太陽系大航海時代到来の布石

③人類の生命起源

④他の衛星から有用な資源獲得

・未来を背負う子供たちに夢を与えた

## 2. 21世紀の我々への課題

21世紀の日本は技術力がある技術立国にふさわしい国造りを目指さねばならない。

“成熟社会に向け存在感のある日本を目指す”その第一歩をはやぶさ成功は示してくれた、その意義は大である。

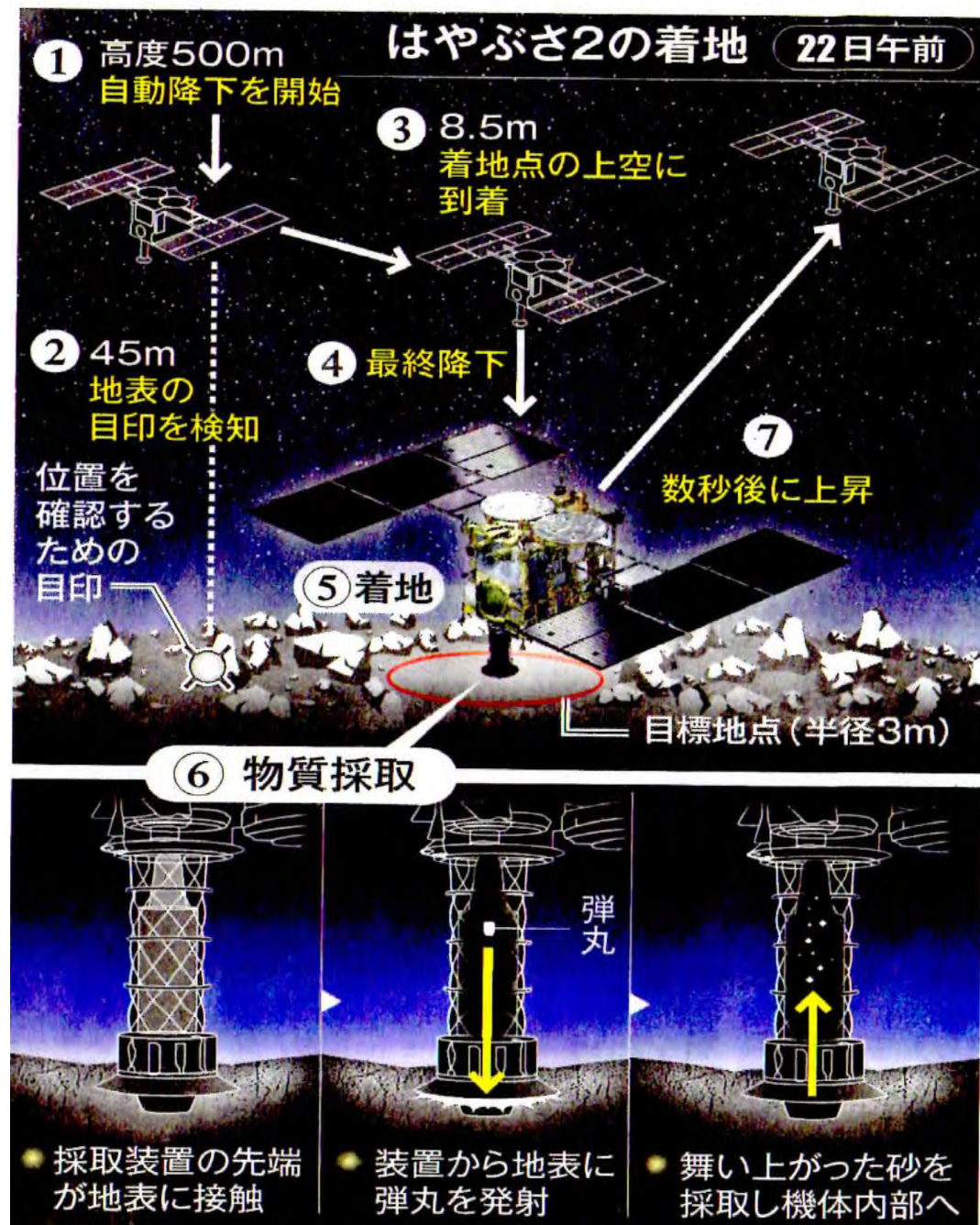
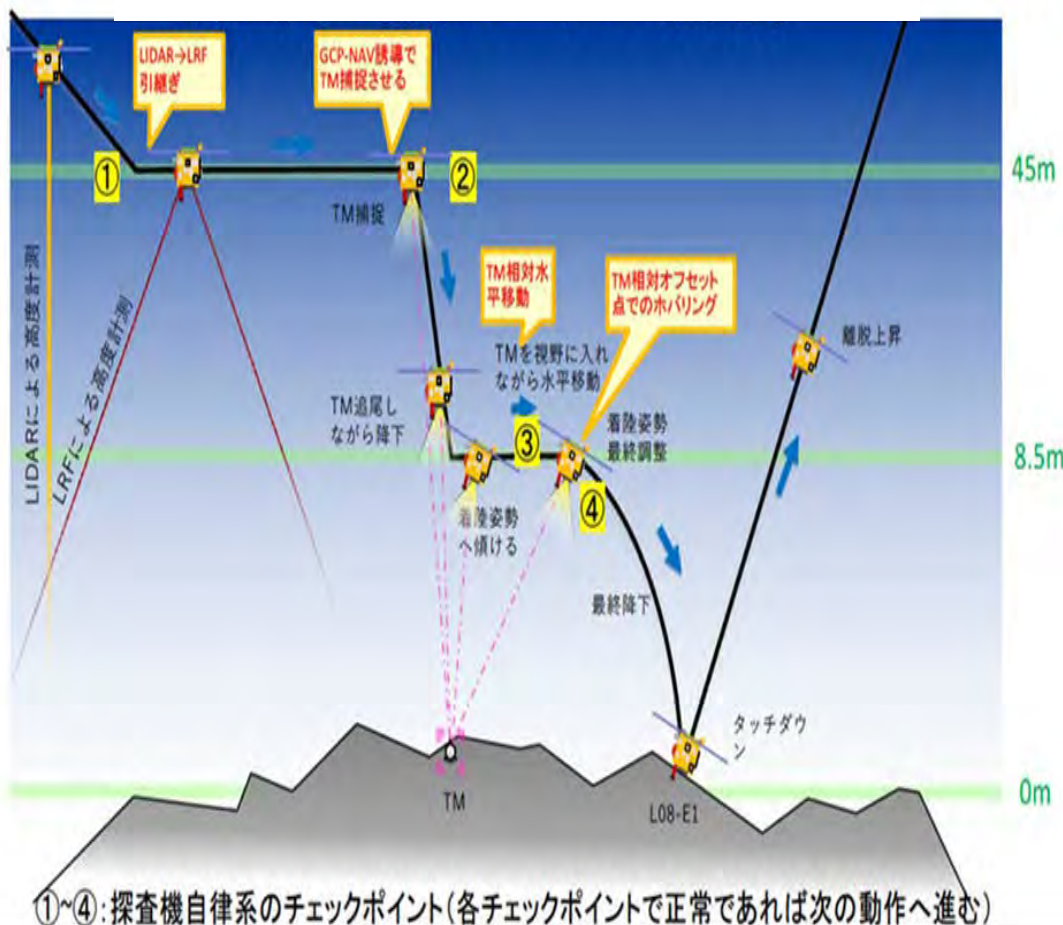
## 3. 後継機はやぶさ2のミッション

\* はやぶさ2号機は初号機の快挙を受け継ぎ、2014年12月3日6年間52億kmの旅に出発した。帰還後世界は日本はすばらしい製造国のみならず独創的な創造能力、技術を待っていると…。21世紀の我々への課題は身近となった。

# はやぶさ2の着地成功 (2019年2月22日)



## タッチダウンシーケンス



※高度は計画値。JAXAの資料を基に作成

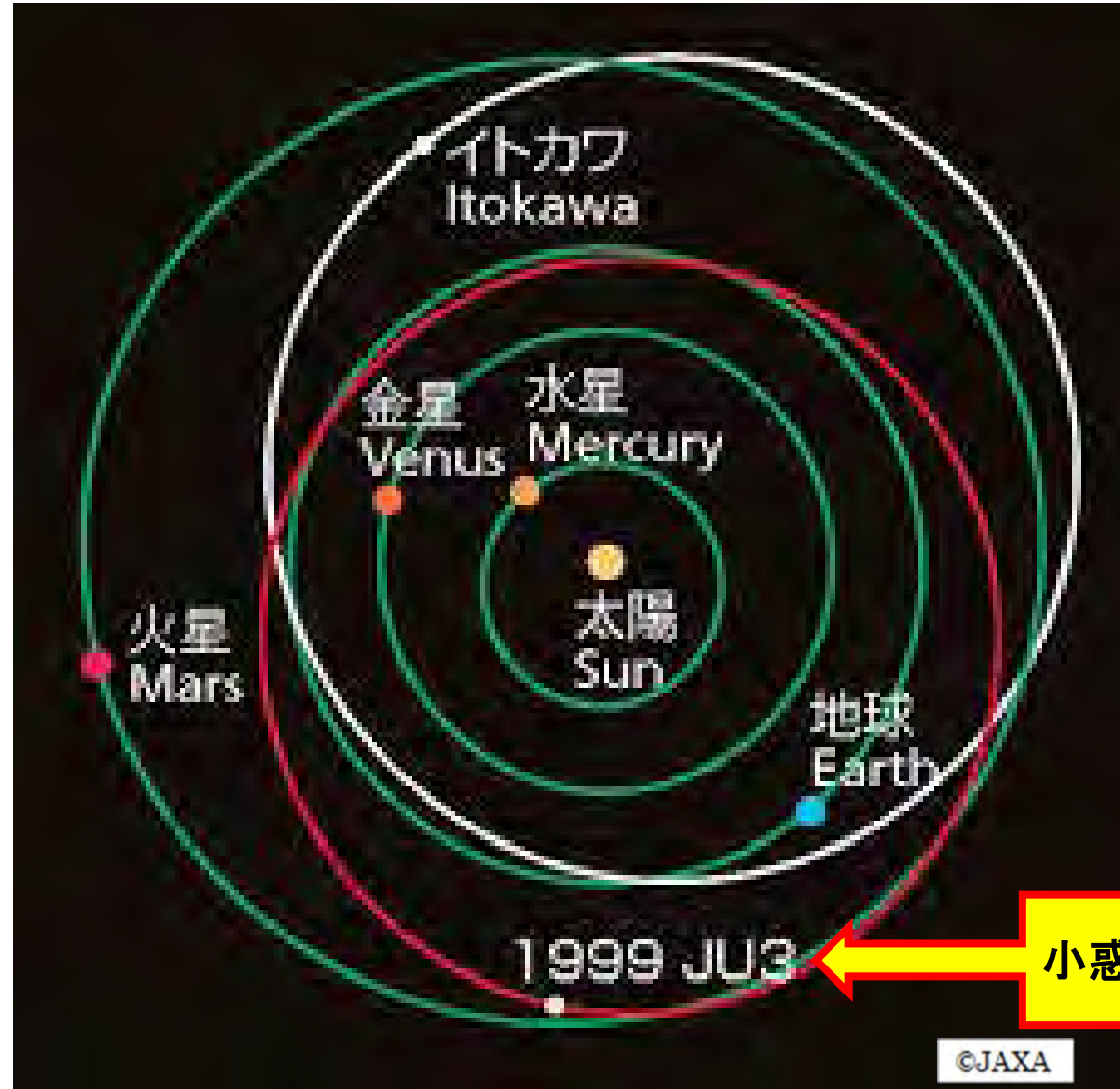


# はやぶさ2計画

- 2014年12月3日、H-2Aロケットで打上
- 2018年～2019年天体での探査実施
- 2020年12月地球帰還予定。
- 開発費148億円(初号機127億円)
- はやぶさ2は小惑星リュウグウ(1999JU3)(**生命の起源が予測出来るC型、直径920m**)に行く、丸いおむすび状の形をしている。ミッションは約46億年前宇宙空間での有機物や水の存在を探る事で生命の起源を探りに行く。
- インパクターで小惑星内のカケラ採取(2019年6,7月計画)



# 小惑星リュウグウ(1999JU3)の軌道



- ・公転: 1. 3年
- ・自転: 約7時間38分
- ・密度:  $0.5 \sim 4.0 / \text{cm}^3$  (TBD)
- ・質量:  $1.7 \times 10^{11} \text{Kg} \sim 1.4 \times 10^{12} \text{kg}$  (TBD)

注: 密度、質量は予測値探索にて明らかになる

小惑星リュウグウ

直線距離で地球から約3億km離れたC型小惑星「1999JU3」を目指し、4年余りの旅  
採取後6年後の2020年12月 約52億kmの航行距離を経てウーメラ砂漠に帰還予定

# はやぶさ初号機とはやぶさ2比較

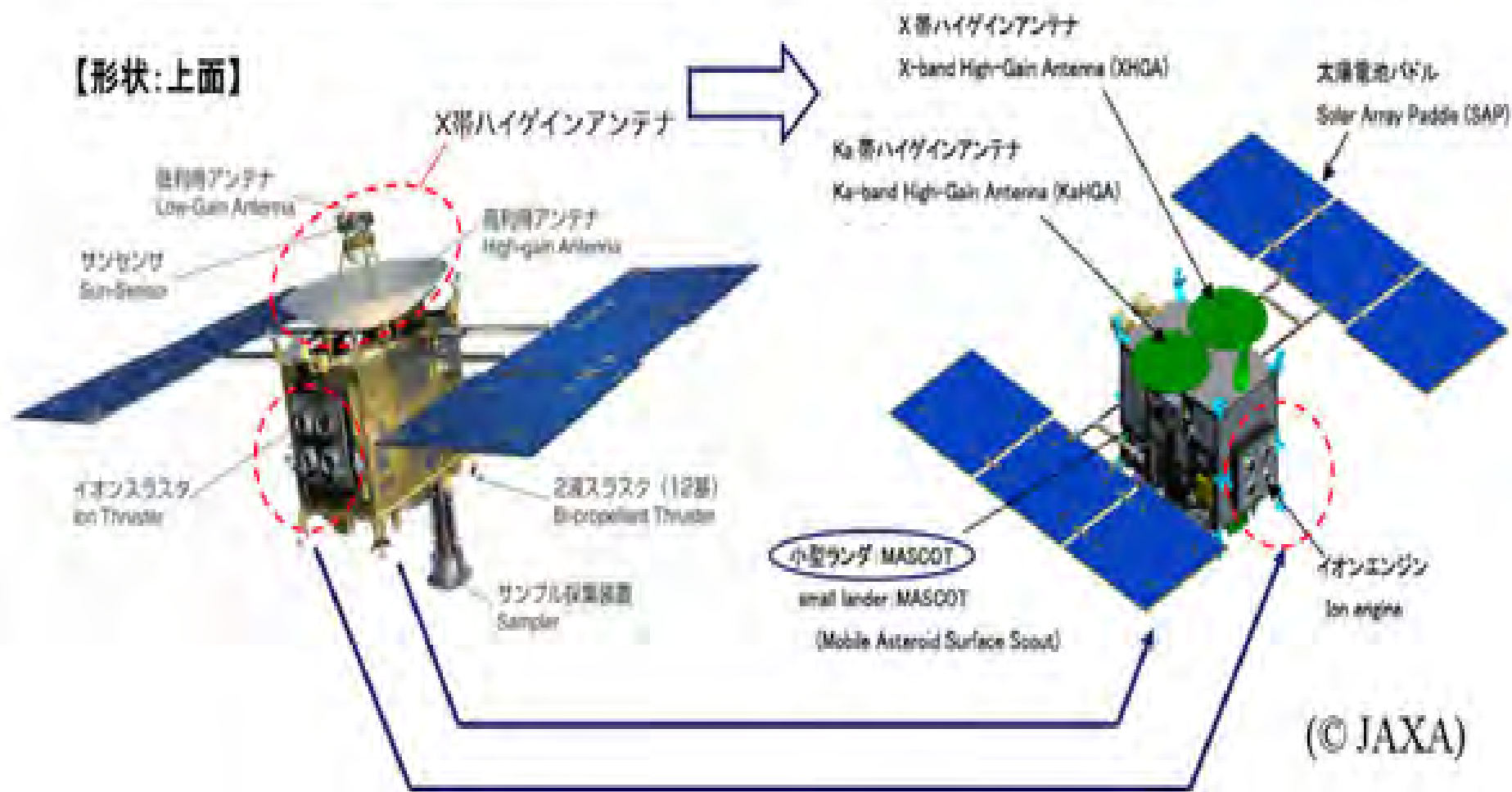
はやぶさ

大きさ: 約1m × 1.6m × 1.1m (探査機本体)  
重さ : 510kg (燃料込み)

はやぶさ2

大きさ: 約1m × 1.6m × 1.25m (探査機本体)  
重さ : 約600kg (燃料込み)

【形状: 上面】



## はやぶさ2の改良点

- ・改良機体で往復で**6年間、約52億<sup>キロ</sup>の長旅**
- ・インパクタでクレーターを作り、宇宙線等宇宙風化で変質していない内部の物質を露出させて採取する。
- ・イオンエンジン2割アップ(8mN⇒10mN)
- ・おわん形のパラボラアンテナを平面タイプに変更することで軽量化、周波数帯も追加し、初代の4倍の高速通信  
(Kaバンド: 約32GHzの周波数の電磁波) 実現
- ・リアクションフォイル3基⇒4基に
- ・はやぶさ重量 500kg⇒600kg

# 初号機でのトラブル克服により順調な飛行

1. イオンエンジントラブル改良点：中和器の中に金属片が生成された、マイナスの電子を発生させる時この金属片が電磁波出力を妨げていた事が判明。原因はイオンスピードが速いため磁石で守っていた壁が剥がれた。壁を2割増やして壁が傷つかない工夫をした。
2. 化学推進エンジンの燃料、酸化剤の凍結を防ぐ工夫、ヒーターを2か所とした。
3. 探査ロボットミネルバの切り離しを自律にするに当たり、リュウグウに近づいたらLRF／レーザーレンジファインダー（近距離高度計）で約30m付近で位置計測、それまではレーザー光線を発射するLIDAR高度計で実施。

## はやぶさ2のミッションとミネルバ他の装置の機能

- ・少し深いところに生命の源となる水が多くある可能性大と予測する。
- ・探査ロボットミネルバⅡで表面を撮影する機能とジャンプして移動する機能をもつ。太陽電池でジャイロが回り最大10mジャンプする。はやぶさ2が50m辺で切り離す機能を自律とした。

レーザー光線を発射するLIDAR高度計で距離を計測、

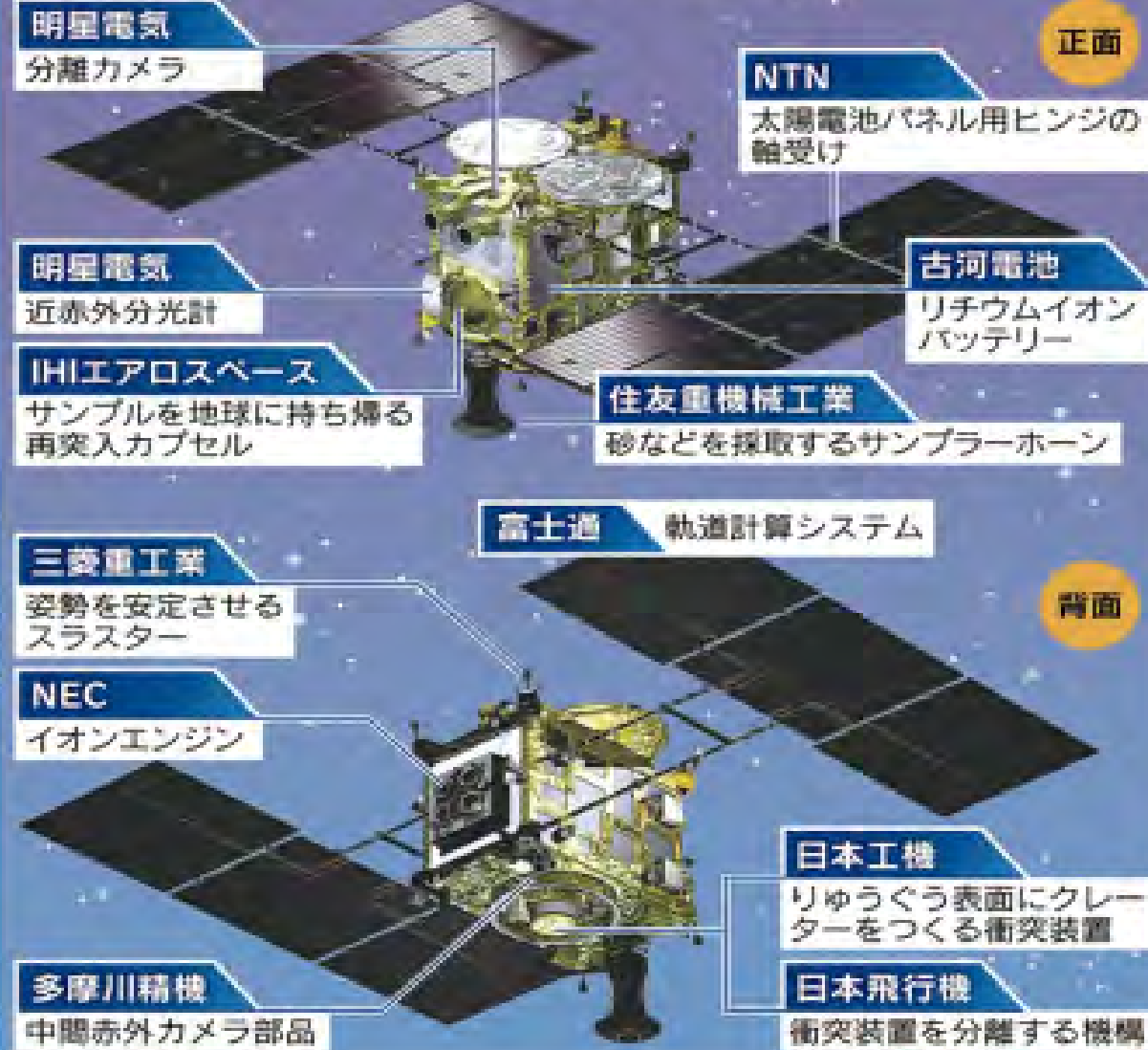
- ・デコボコの表面：ミネルバⅡ画像から3次元モデルを作成して着地点を予測、サンプラーホーンのながさ1mしかない点の克服

- ・リュウグウの土壌：太陽光を反射しない黒い土壌、炭素を多く含むものと水がある可能性

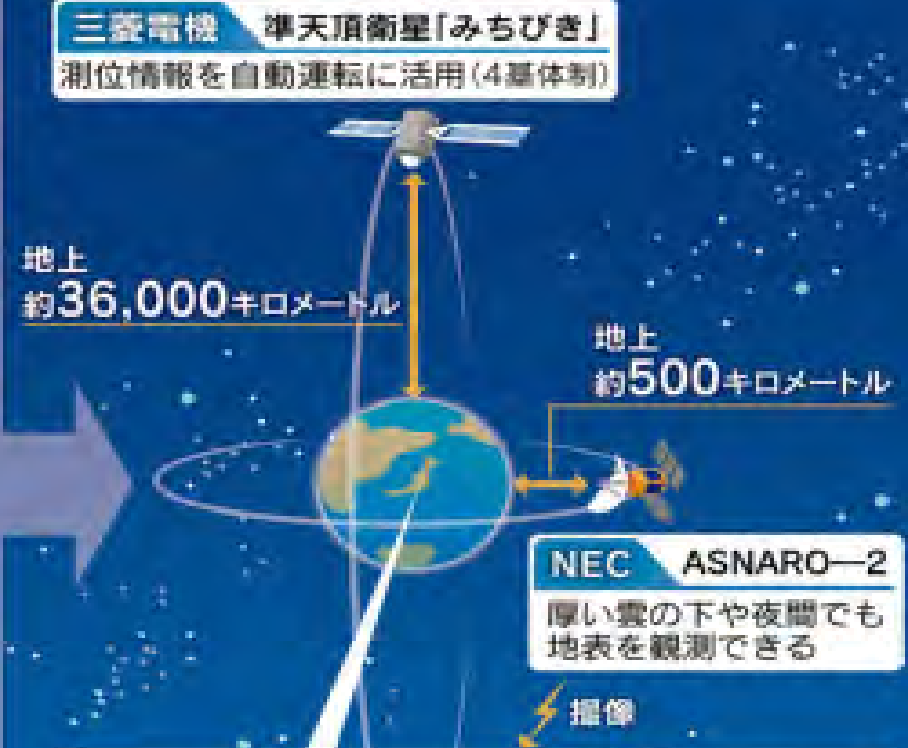
NIRS3／ニルス3と言う装置で水がある可能性観測

## はやぶさ2開発支援企業

「りゅうぐう」にきょう到着するはやぶさ2  
には主要メーカーが名を連ねる



自社での事業展開も目指す



# はやぶさ2

・6年間、約52億kmの旅

1. 打上  
2012年12月3日
2. スイングバイ  
2015年12月3日
3. 到着  
2018年夏
4. 出発  
2019年末
5. 帰還  
2020年末



ご清聴精読ありがとうございました

宇宙には夢がある、皆様に宇宙開発に興味を持って頂ければ幸いに思います。

今回は初号機はやぶさの後継機となったはやぶさ2の人工クレータ作製成功を記念して投稿しました。

いろいろの事に興味、好奇心を持ち、その中から、将来の目標を決めその実現に励みましょう！（提言）

“限りなき前進 ～Ever Onward～”

尚、本稿はインターネット、Wikipedia記事、画像を利用し、過去宇宙開発に従事した筆者の経験を踏まえ自らの考えを入れて編集した第2段報告です。