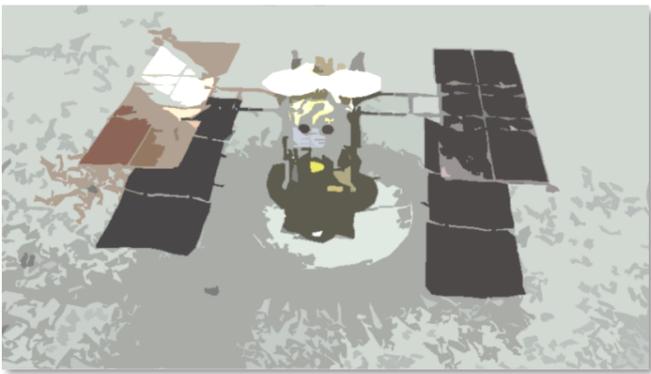
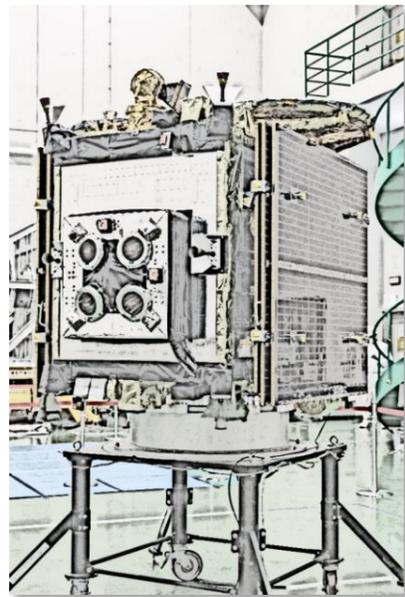
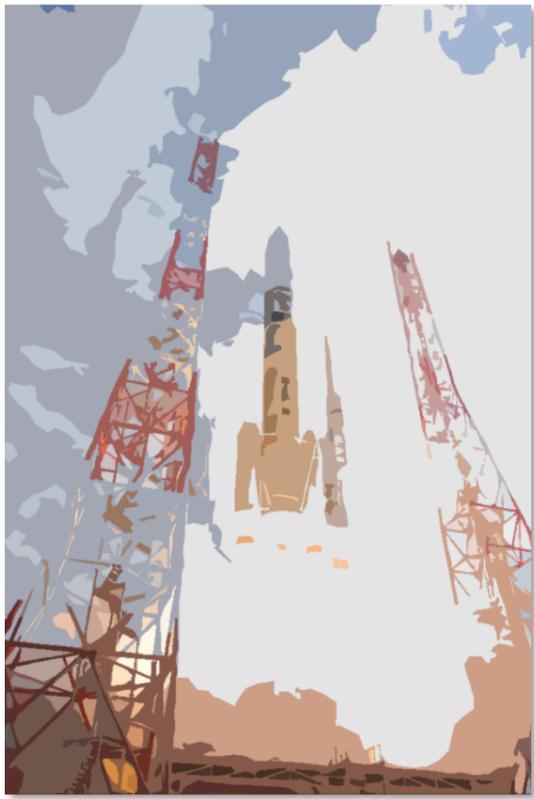


Play Back HAYABUSA2

「はやぶさ 2」の開発、打上げから地球帰還直前までの軌跡を振り返りました。

これまで紹介していない写真や、運用時の担当者の声などを紹介しています。



はやぶさ 2
プロジェクトサイト



ファン!ファン! JAXA
はやぶさ 2 特設サイト

2014
12.3 打上げ

2014

1

打上げ準備

2015
12.3 地球スイングバイ

2015

2



何度も開催される設計会議。
たまには、会議後に・・・。



2018.1.10～6.3
イオンエンジン運用

2016

2017

2018

3

6.27 リュウグウ到着

4



←熱真空試験を終え、チャンバから出てくる「はやぶさ2」。



【写真1】

「【写真1】はサンプルの弾丸を探査機から発射した際に生じる衝撃を計測する試験の写真です。安全のために金属製容器の中にスポンジ、金属板、段ボールなどを幾重にも重ねたものに対して実際に弾丸を発射しました。手にしている白い長いものは、予想に反して弾丸が通過した際にスポンジを押し出して作られたものです。貫通時に穴が開くだけだと予想していたのですが意外な結果でした。試験は問題なく実施でき衝撃を計測できました。」(サンプリング装置担当 澤田)

9.12 TD1-R1

5

9.21 MINERVA-II1 分離

6

10.3 MASCOT 分離

7

10.15 TD1-R1-A

8

打上げ直前

2019

2.22 1回目タッチダウン

9

2014年9月

「はやぶさ2」JAXA 相模原キャンパスより搬出。打上げの地、種子島へ。

フェアリング結合作業の様子

4.5 SCI 運用

10

4.25 クレーター検索(事後)

11



↓種子島宇宙センターでPAF結合作業中の「はやぶさ2」下部



7.11 2回目タッチダウン

12

8.26 カプセルのフタ閉め

13

9.17 ターゲットマーカ分離

14

10.3 MINERVA-II2 分離

15

11.3 リュウグウ出発

16



2014年11月種子島にて



はやぶさ2 特製ラーメン。
打上げ前は種子島全体で応援してくれました。



2020.12.6 地球帰還
小惑星「1998 KY26」へ出発

2020

17

「まもなく打ち上げ。「やった方がよさそうなことはすべてやる」の精神でお参りました。」
(プロジェクトマネージャ 津田)

2031年到着予定

2014

2014
12.3 打上げ

1

① 打上げ当日 2014年12月3日

2015

2015
12.3 地球スイングバイ

2

13時22分04秒(日本時間)
種子島宇宙センター H-IIA ロケット 26号機

2016

2017

2018

2018.1.10~6.3
イオンエンジン運用

3



ロケットが無事に打ち上がっても「はやぶさ2」が正常に分離されるまで安心はできません。初代「はやぶさ」元プロジェクトマネージャの川口淳一郎先生も見守ります。

「打上げ時思いはいろいろありますが、載るペイロード側としては打つ手はないので、まな板の鯉です。」

(川口淳一郎 宇宙科学研究所特任教授)



6.27 リュウグウ到着

4

9.12 TD1-R1

5

9.21 MINERVA-II1 分離

6

10.3 MASCOT 分離

7

10.15 TD1-R1-A

8

↑世界初の超小型人工惑星「PROCYON(プロキオン)」も相乗りし、「はやぶさ2」と同時に打上げられました。(赤丸内)



打上げ成功を喜ぶプロジェクトメンバー

2019

② 地球スイングバイ 2015年12月3日

2.22 1回目タッチダウン

9

4.5 SCI運用

10

4.25 クレーター検索(事後)

11

7.11 2回目タッチダウン

12

8.26 カプセルのフタ閉め

13

9.17 ターゲットマーカ分離

14

10.3 MINERVA-II2 分離

15

11.3 リュウグウ出発

16

2020.12.6 地球帰還
小惑星「1998 KY26」へ出発

2020

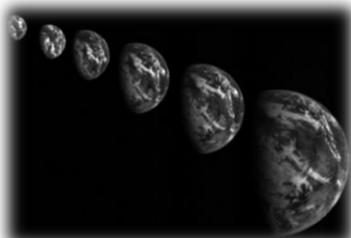
2031年到着予定

17



「地球スイングバイは、私がシステム担当としてプロジェクトに加わり3ヶ月目で迎えた一大イベントでした。当日は運用シーケンスの一つ一つに興奮しつつ、固唾を呑んで推移を見守っていました(運用後は疲労困憊でした)。運用フェーズよりプロジェクトに参加した私としては観測で得られた地球や月の画像を目の当たりにして初めて、探査機が宇宙空間を本当に飛行しているのだと信じる事が出来ました(笑)。(武井/写真右)

「4日後の12月7日があかつきの金星軌道投入と重要なイベントが重なり、地上局の割り振りがとても大変でした。はや2とあかつきの臼田局の可視が重なっていたため運用の重要度に合わせて譲ったり譲られたり。臼田局を巡ってのケンカはもちろんありま...せんでした!また、探査機が地球の近くを通るのでアンテナの受信レベルが高くなり過ぎたり、追跡するアンテナの駆動速度を超えてしまう恐れなどがあったので、距離や方角等からそれらを計算し、分単位で設定を変えてスイングバイを行いました。結果はシミュレーション通りとなり、安心したものでした。」(鈴木/写真左)



「はやぶさ2」が撮影した地球スイングバイ直前の地球(写真左)と直後の地球(写真右)



キャンベラ局との交信を通じてスイングバイ後の探査機健全性が確認でき、喜ぶシステムメンバー



←プロマネの命を受けてデコレーションしたスイングバイと打上げ一周年お祝いのケーキ

2014
12.3 打上げ

2014
1

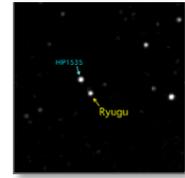
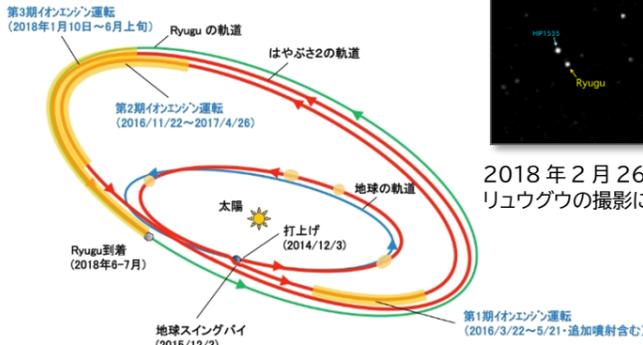
③ イオンエンジン運用 2018年1月10日～6月3日

2015
12.3 地球スイングバイ

2015
2

2018年1月10日
第3期イオンエンジン連続運転開始

2018年6月3日 機上時間 14:59(日本時間)
イオンエンジン停止・往路完走
連続運転時間 2,426 時間



2018年2月26日
リュウグウの撮影に成功



2018.1.10～6.3
イオンエンジン運用

2018
3



←イオンエンジン試運転の様子
(2013年5月)



6.27 リュウグウ到着

4

「イオンエンジンは、大きな力を出して一瞬で勝負が決まるロケットエンジンとは異なり、長い時間をかけて目標速度を達成します。一瞬噴射が止まっても、最後に噴き足すことで帳尻を合わせることができます(イオンエンジンには安全のために一時停止する機能があります)。しかしリュウグウに近づくほど帳尻を合わせる時間が不足していきます。リュウグウ到着直前はすでにフルスロットルだったためそれ以上の速度を出すことが難しく、イオンエンジンが異常停止した場合の時間のツケは、「数ヶ月単位でのリュウグウ到着遅れ」というペナルティとして跳ね返ってくるのがわかっていました。なので、少しでも停止する時間を減らすための機能や、異常時のバックアップ案を探査機に仕込んで、祈るような気持ちで長期連続運転に臨んでいました。大変なプレッシャーの中で往路完走を成し遂げ、集合写真では嬉しいような、泣きたいような、気が抜けたような複雑な顔になってしまいました(笑)。(細田<IES 兄>/写真前列右から2人目)

9.12 TD1-R1

5

9.21 MINERVA-II1 分離

6

10.3 MASCOT 分離

7

10.15 TD1-R1-A

8

2019

④ リュウグウ到着 2018年6月27日 9:30

2.22 1回目タッチダウン

9

小惑星リュウグウ到着(高度 20 km)



【写真1】

4.5 SCI運用
4.25 クレーター検索(事後)

10
11

「小惑星到着を宣言する予定の前日までの5日間は、小惑星との距離を測るセンサである LIDAR(LIght Detection And Ranging)の設定に苦戦して距離が計測できない状況でした。測距の成功は小惑星到着宣言に大きな意味を持ちますので、毎日の運用でセンサの設定を調整し続けていました。【写真1】は測距成功の記念写真です。

7.11 2回目タッチダウン

12

測距に苦勞した要因はリュウグウが黒く凸凹していて、更に、コマのような形をしていたため、レーザ送信光に対する反射光が想定以上に低いことでした。

8.26 カプセルのフタ閉め

13

この事実はこの後も LIDAR による測距の障害となり、タッチダウン1回目のリハーサル降下の際のアポート※、タッチダウン2回目に使用するターゲットマーカ投下の際のアポートの要因となり航法誘導制御センサ担当を苦しめることになりました。」(照井/【写真1】左)

9.17 ターゲットマーカ分離

14

※アポート：探査機の自律判断で降下を中止し上昇

10.3 MINERVA-II2 分離

15

11.3 リュウグウ出発

16



はやぶさ2プロジェクトサイト
「3+34人の“リュウグウ”」

2020.12.6 地球帰還
小惑星「1998 KY26」へ出発

2020
17

翌6月28日に開かれた近傍フェーズ決起集会。「3+34人の“リュウグウ”」コンテストでプロジェクトメンバーが予想したリュウグウがいかに本物と違っていたか、いかに予想が外れたかを言い合っています。

2031年到着予定

2014

2014
12.3 打上げ

1

⑤ TD1-R1(タッチダウン1-リハーサル1) 2018年9月12日

2015

2015
12.3 地球スイングバイ

2

2016

2017

2018

2018.1.10~6.3
イオンエンジン運用

3



【写真1】

【写真2】

【写真3】

【写真4】

「この日はリュウグウ到着後初めて、実際のタッチダウンを模擬して「はやぶさ2」を超低高度(約50m)まで降下させる『タッチダウンリハーサル』運用を行いました。

午前中は高度20kmから順調に降下していましたが(写真1)、午後1時に探査機が危険を自動検知し降下を中止。管制室が一気に緊迫します(写真2、3)。不測の事態にも管制チームは探査機を安全に高度20kmに戻しました。夜には、即座に緊急の対策会議が開催されました(写真4)。ここでは原因となったLIDARの対策と、今後のスケジュールをどうするかが議論されました。限られた期間で着陸成功にこぎつけるために、タッチダウンを延期し代わりにターゲットマーカーを地表に落とそう、という大方針転換が決定されました。

あとから考えても、ここが「はやぶさ2」のリュウグウ着陸成功に至る一番大きなターニングポイントだった気がします。しかし当時は、この決断が良い結果に繋がりますようにと、切に祈るような思いでした。10年考えてきた運用計画を変更するのはなかなか勇気のいることです。それをたった1時間半の会議で分析し、メンバー全員で合意し、決断し、その方針通りに一糸乱れず行動に移せたのは、プロジェクトがなすべきこととできることを、本質的な部分でメンバー全員が理解していたからでしょう。

夜通しの運用のあとだったので皆さん疲れの色が濃いですが、『はやぶさ2』にとってのチームワーク発揮の場は管制室だけではない、ということが感じられる一幕でした。」(プロジェクトマネージャ 津田)

LIDARの設定値の見直しを含め降下手順の修正を検討することになった。

6.27 リュウグウ到着

4

9.12 TD1-R1

5

9.21 MINERVA-II1分離

6

10.3 MASCOT分離

7

10.15 TD1-R1-A

8

2019

⑥ MINERVA-II1分離 2018年9月21日

MicroNano Experimental Robot Vehicle for Asteroid the Second Generation

2.22 1回目タッチダウン

9

4.5 SCI運用

10

4.25 クレーター検索(事後)

11

7.11 2回目タッチダウン

12

8.26 カプセルのフタ閉め

13

9.17 ターゲットマーカ分離

14

10.3 MINERVA-II2分離

15

11.3 リュウグウ出発

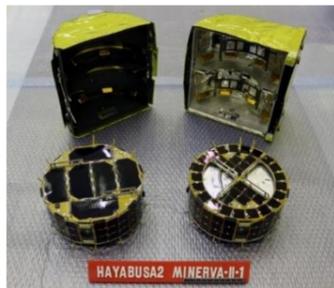
16

2020.12.6 地球帰還
小惑星「1998 KY26」へ出発

2020

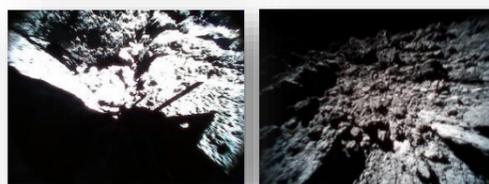
17

2031年到着予定



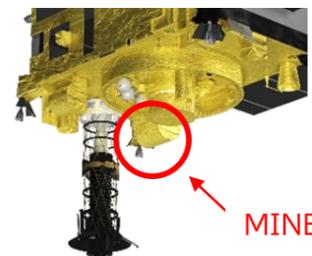
左:Rover-1A(イブー)
右:Rover-1B(アウル)※

リュウグウ表面に着地したRoverが撮影した画像



【写真1】
Rover-1Aが撮影

【写真2】
Rover-1Bが撮影



MINERVA-II1



Rover 格納カバー



ミネルバ
「MINERVA-II1」は人工知能を搭載した賢いロボットです。小惑星表面は日中は太陽光で熱いので、朝と夕方に活動します。陽が昇ったら目を覚まし、ホッピング移動探査を行い、昼間は昼寝をし、夜は熟睡します。実はRover-1Bには放熱板がついていて、自動開閉して温度調節をすることを考えていました。昼間の暑い時間帯に窓を空けて熱を逃し、夜は窓を閉じて保温する予定でしたが、重量の関係で開閉機能をあきらめました。「MINERVA-II1」は移動しながら写真を撮りますが、通信回線が限られているので画像を自分で評価して良い画像だけ地球に送ります。全部で約600枚の画像を取得しています。自分自身の影(写真1)やホッピング中の小惑星の表面(写真2)など、ワクワクする写真を地球に送ってくれました。

解析が終わったら公開しますので、どうぞ楽しみに。
(久保田/写真3前列中央)



【写真3】MINERVA-II1分離時の運用の様子

前列右から吉光氏(ISAS)、久保田氏(ISAS)、廣瀬氏(デジタルスバイス)
後列右から須藤氏(デジタルスバイス)、永岡氏(九工大)

MINERVA-II1は、小惑星表面に降りた“世界初”の移動探査ロボットとなりました。

※イブー(HIBOU)はフランス語で「みみずく」、アウル(OWL)は英語で「ふくろう」の意味

2014
12.3 打上げ

2015
12.3 地球スイングバイ

2018.1.10~6.3
イオンエンジン運用

6.27 リュウグウ到着

9.12 TD1-R1

9.21 MINERVA-II1 分離

10.3 MASCOT 分離

10.15 TD1-R1-A

2019

2.22 1回目タッチダウン

4.5 SCI運用

4.25 クレーター検索(事後)

7.11 2回目タッチダウン

8.26 カプセルのフタ閉め

9.17 ターゲットマーカ分離

10.3 MINERVA-II2 分離

11.3 リュウグウ出発

2020

2020.12.6 地球帰還
小惑星「1998 KY26」へ出発

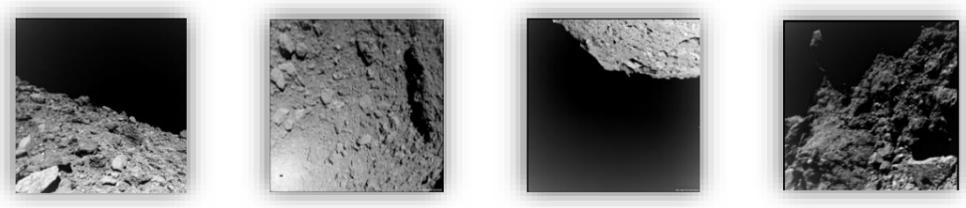
2031 年到着予定

2014
1
2015
2
2016
2017
2018
3
4
5
6
7
8
2019
9
10
11
12
13
14
15
16
2020
17

⑦ MASCOT 分離 2018年10月3日

Mobile Asteroid Surface Scout

マスコット
MASCOTは、ドイツとフランスが提供した靴箱サイズの宇宙ロボットです。広角カメラ、分光顕微鏡、熱放射計、磁力計が搭載されています。



MASCOTが撮影したリュウグウの画像



DLR MASCOT
プロジェクトマネージャ
Tra-Mi Ho(トラミ ホー)

いまもリュウグウの表面に静かに残っている MASCOT に伝えたいことはなんですか？

～Message for MASCOT～

Until the last minute you were busy sending data home. We cannot be prouder of you, brave little MASCOT!

Now you remain on Ryugu, witnessing the human endeavor to explore the universe.

リュウグウの“お宝”を抱えて地球へ向かっている『はやぶさ 2』へ一言お願いします

～Message for Hayabusa2～

We are so excited about the contents of your treasure chest that you will bring back from your long journey. A gift from outer space to be deciphered back on Earth, after such an inspiring complex mission! (Tra-Mi Ho)

リュウグウに着地後、バッテリーが切れるまでの約 17 時間に取得されたさまざまな観測データは、「はやぶさ 2」本体を経由して地球に送られ、タッチダウンの計画策定に役立てられました。

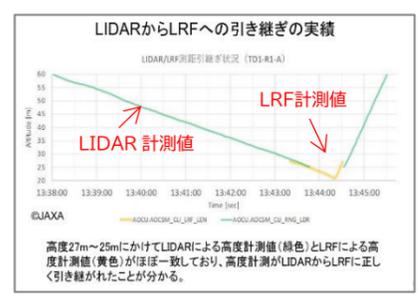
⑧ TD1-R1-A(タッチダウン1-リハーサル1A) 2018年10月15日

今回のリハーサルは、9月12日に行った「TD1-R1」の再チャレンジ。



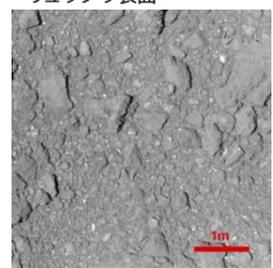
【写真1】

【写真2】



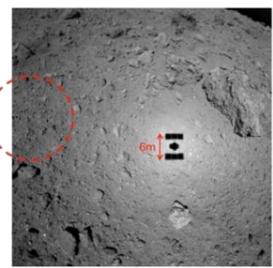
【図1】

↓これまでで最も高解像度のリュウグウ表面



【写真3】

↓タッチダウン候補地付近(赤丸内が候補地点)



【写真4】

この運用の主目的は、前回中止(アボート)してしまった超低高度への降下を完遂すること。前回の問題点を克服し、しっかり準備して臨んでも管制室はみんなそわそわしています(写真1)。そんな管制メンバーの気持ちを知ってか、リュウグウのつかいはハロウィーンのいでたちで管制室を和ませます(写真2)。

そして10月15日22時44分、「はやぶさ2」は高度22.3mに無事到達、のどから手が出るほど欲しかったレーザー高度計(LRF)の超低高度での性能データを取得できました(図1)。着陸点付近の高解像度の画像を撮ることも忘れず実施。いい写真が撮れました(写真3、4)。

前回(9月12日)のアボートした運用とは打って変わってパーフェクトな降下。管制メンバー一同、報われた心持ちでした。(プロジェクトマネージャ 津田)

前回の降下は高度600mまででしたが、今回は高度22.3mまで降下し、貴重な画像も取得できました。

2014

2014
12.3 打上げ

1

サンプラホーン、サンプル採取装置の開発

2015

2015
12.3 地球スイングバイ

2



サンプラホーン



↑サンプラホーン取付け作業の様子
(2012年12月撮影)



↑サンプラホーン先端の折り返し部。
数ミリのサンプルをひっかけて採取することを期待

2018

2018.1.10~6.3
イオンエンジン運用

3

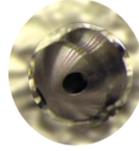


サンプルキャッチャ

金属製の5gの弾丸(写真下)が、サンプラから秒速約300mの速度で射出され、リュウグウの表面を粉碎します。

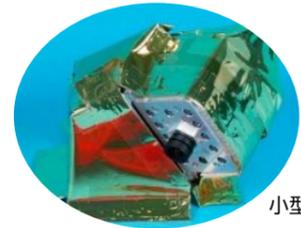
粉碎され舞い上がった表面物質はサンプラホーンの中に入って上昇し、サンプルキャッチャの中に格納されます。

サンプルキャッチャは地球帰還カプセルの中に格納されます。



金属(タルタン)製の弾丸

苦勞して開発した「はやぶさ2」のサンプラ。サンプラホーンを展開してからしばらく出番がありませんでしたが2019年2月22日、1回目のタッチダウンでついに番がやってきました。サンプラホーンを撮るために付けた小型カメラCAM-H*2の写真(パネル下)を見る限り、弾丸によってリュウグウ表面が噴き上げられていて、サンプルが採れていることが期待されます。どんなサンプルが入っているか今から楽しみです。



小型カメラ CAM-H

2016

6.27 リュウグウ到着

4

2017

9.12 TD1-R1

5

9.21 MINERVA-II1 分離

6

10.3 MASCOT 分離

7

10.15 TD1-R1-A

8

※2 小型モニタカメラ「CAM-H」は皆さまの寄附金で製作・搭載されました。ご支援いただいた皆さま、ありがとうございました。

2019

⑨ 1回目タッチダウン成功 2019年2月22日

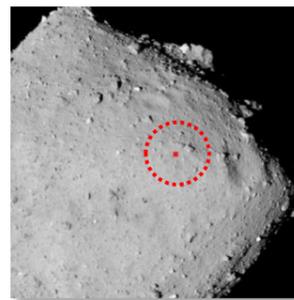
2.22 1回目タッチダウン

9

3回目のリハーサル「TD1-R3」(2018/10/25実施)でターゲットマーカを投下。これを利用して行われた1回目のタッチダウン。



タッチダウンのおおよその位置(■印)



でこぼこだらけのリュウグウの表面。到着前に想定していた一辺100mの正方形の領域から、直径6mの領域に着地することに。

2015

4.5 SCI運用

10

4.25 クレーター検索(事後)

11

7.11 2回目タッチダウン

12

ついにこの日がきました。想定を超えた険しさのリュウグウにいかに着陸するか。作戦を練り直すため、予定を4ヶ月遅らせ、万全の作戦で臨みました。

出鼻をくじかれ5時間遅れのスタートとなりましたが、チームワークで乗り切り、2月22日午前7時29分10秒に着陸。弾丸の発射も確認され、サンプルは十分採取されたものと期待されます。着陸地点は狙った位置からたった1mのずれ。3億km彼方の星であることを考えるとこれは物凄い成果です。「はやぶさ」の雪辱を晴らして余りある大成功となりました。(プロジェクトマネージャ 津田)

2016

8.26 カプセルのフタ閉め

13

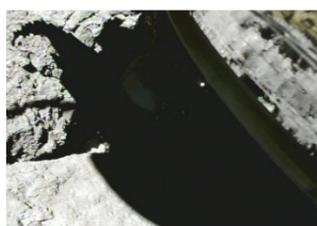
9.17 ターゲットマーカ分離

14

CAM-H(小型モニタカメラ)での連続画像 (高度はリュウグウ表面から探査機底面までの距離)



下降中 高度約4.1m



タッチダウンの瞬間 高度約1.0m



上昇中 高度約2.9m



上昇中 高度約8.0m

2020

2020.12.6 地球帰還小惑星「1998 KY26」へ出発

17

2031年到着予定

タッチダウン地点には「たまたばこ」という愛称がつけられました。

2014
12.3 打上げ

2015
12.3 地球スイングバイ

2018.1.10~6.3
イオンエンジン運用

6.27 リュウグウ到着

9.12 TD1-R1

9.21 MINERVA-II1 分離

10.3 MASCOT 分離

10.15 TD1-R1-A

2019

2.22 1回目タッチダウン

4.5 SCI 運用

4.25 クレーター検索(事後)

7.11 2回目タッチダウン

8.26 カプセルのフタ閉め

9.17 ターゲットマーカ分離

10.3 MINERVA-II2 分離

11.3 リュウグウ出発

2020

2020.12.6 地球帰還
小惑星「1998 KY26」へ出発

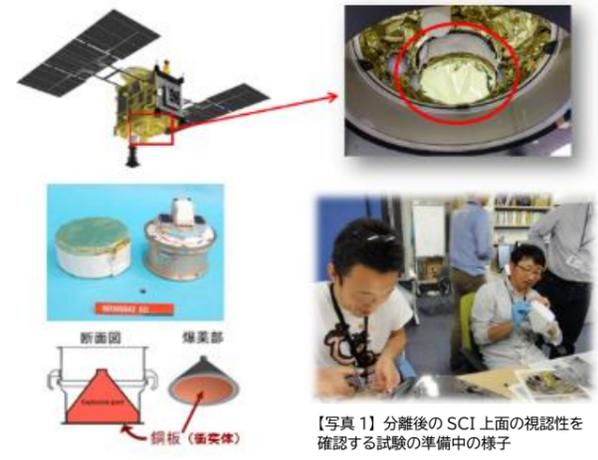
2031 年到着予定

2014
1
2015
2
2016
2017
2018
3
4
5
6
7
8
2019
9
10
11
12
13
14
15
16
2020
17

衝突装置(SCI)・分離カメラ(DCAM3)の開発

衝突装置(SCI)の開発 Small Carry-on Impactor

リュウグウに人工クレーターをつくる装置です。爆薬により 2 kg の純銅製の板(衝突体)を、秒速 2km に加速させリュウグウ表面に打ち込みます。

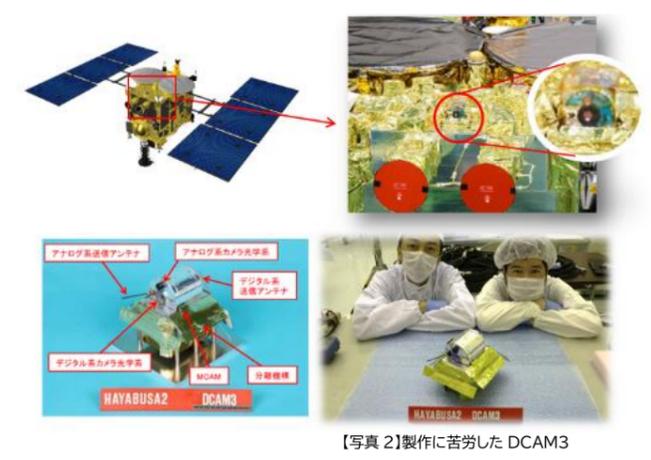


【写真 1】分離後の SCI 上面の視認性を確認する試験の準備中の様子

「衝突装置は、『はやぶさ』初号機にはなかった新機器ですので開発スケジュールが非常に厳しかったです。自分自身の専門外のことも多く、メーカーさんや専門家の皆さんに無理をお願いしたりもしながら、何とか間に合わせることができました。爆発する派手な部分に注目されがちですが、正確に小惑星にぶつけるための精密な分離の部分に非常に苦労した記憶があります。地上での確認実験も難しく、一発勝負なので運用の本番までずっと心配しておりましたが、とても綺麗に分離してくれました。このようなユニークな機器の開発に携われたことを幸せに思います。もう一度やりたいかは置いておいて(笑)」
(SCI 担当 佐伯/写真 1 右)

分離カメラ(DCAM3)の開発 Deployable Camera 3

「はやぶさ 2」から分離し、SCI の爆破とリュウグウへの衝突の様子を撮影します。画像データはリアルタイムで「はやぶさ 2」に無線で送られ、10 km 以上離れても送信できます。

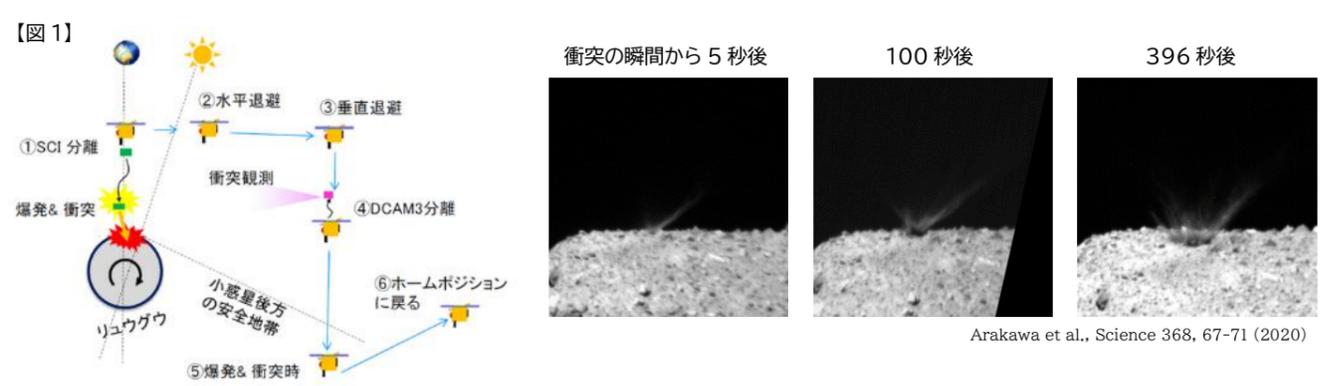


【写真 2】製作に苦労した DCAM3

「苦労して苦労して、泣きそうになりながら開発した DCAM3。探査機取り付け前に最後の動作確認をしてからカバー部品を締めるため、完成したのは打上げの地の種子島でした。分離されて初めて電源が入る設計のため、本番が初めて最後の電源 ON。打ち上げから 4 年ちょっと、ドキドキで迎えた本番、DCAM3 からの電波を受信できたときの感動は、今でも思い出すと涙が出そうになります。」
(DCAM3 担当 澤田/写真 2 左)

⑩ SCI 分離運用 2019 年 4 月 5 日

爆発によって飛び散る SCI 本体の破片や、リュウグウ表面からのイジェクタが機体に当たらないよう、SCI 切り離し後 40 分のうちに「はやぶさ 2」はリュウグウの陰に退避。退避の途中でカメラ(DCAM3)を分離して衝突の様子を撮影する、という非常に複雑な運用が行われました【図 1】。



Arakawa et al., Science 368, 67-71 (2020)

「分離カメラ(DCAM3)は、探査機から離れて数時間だけ写真を撮りまくる、とても珍しいタイプの装置です。10 cm くらいの可愛い外見に見合わず、様々な複雑な機能が詰め込んであります。「はやぶさ 2」の中で最後に搭載が決まった装置で、開発はまるで激流下りのようでしたが、多くの方の手厚いご協力により完成に漕ぎ着くことが出来ました。開発を始めてから 8 年間、寝ても覚めてもこの本番の 4 時間のことを考えてきました。当時の師匠に習って、枕元やお風呂場の側にメモ帳を置いておいて、実験が失敗するかもしれない原因など、ふと気づいたことを寝ぼけながら書き留めることが習慣になりました。



神経質に準備をしてきましたので、衝突実験の当日、私は酷い有様だったそうです。怖い顔をしてモアイのように喋らず、目は血走っていたと後から聞かされました(自分はイメージトレーニングをしていたつもりでした)。実験成功まで様々な困難がありましたが、それらを関係者全員の協力で乗り越えて、惑星探査の歴史に残る画像が撮影できたことを、とても嬉しく思います。」
(DCAM3 担当 小川/写真 2 右)

世界初の衝突実験は成功！ 次のミッションは、成形された人工クレーターの探索です。

2014

2014
12.3 打上げ

1

⑪ クレーター検索運用(事後) 2019年4月25日

2015

2015
12.3 地球スイングバイ

2

3月に行ったSCI衝突前の「探索(事前)」とリュウグウ表面の変化を比較するため、2019/4/23~4/25に、人工クレーターの探索(事後)を行いました。

2016

2017

2018

2018.1.10~6.3
イオンエンジン運用

3

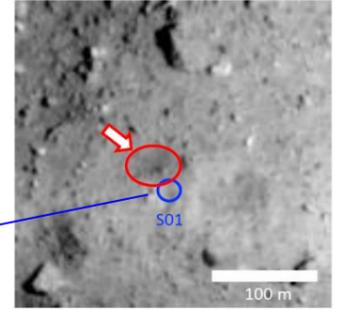
【SCI 衝突前後の地形変化】 高度約 1.7 kmから撮影

【SCI 衝突領域】 高度約 19 kmから撮影



赤丸内が SCI の衝突で掘削された放出物が体積していると推定される領域。下の青丸が目標地点。非常に精度よく衝突したことが分かります。

2 回目タッチダウン候補地の「S01」付近(青丸内)を狙いました



2019

6.27 リュウグウ到着

4



「小惑星に人工クレーターを作る・・・『はやぶさ2』のプロジェクトの立ち上げ期からの夢でした。この世界初の挑戦は、探査機とSCIとDCAM3の連携プレーによって2019年4月5日に実行されたのですが、どんなクレーターが作られたのかを確認してこそ、科学的成果が得られます。地上での実験では砂山に直径3mくらいのクレーターができました。が、もしリュウグウ表面が非常に柔らかければSCIがスポッと表面を貫通して小さな穴しかできないとか、SCIの狙いがずれた時にどうやってクレーターを探すのか(低高度で長時間の観測が必要になる)とか、世界初の実験には心配は尽きませんでした。

果たして・・・大成功したDCAM3の撮影からおおよその場所は同定でき、その上空に行ってみると、DCAM3画像にあったエジェクタカーテンからも予想されたとおり、はっきりとしたクレーターが確認できました。直径約15m、深さ約3m。ここから小惑星の衝突物理は大きく進展していきます。

こういう時に、勇気をもって実際にやってみることに価値を実感します。」(ミッションマネージャ吉川)

2019

9.12 TD1-R1

5

9.21 MINERVA-II1分離

6

10.3 MASCOT分離

7

10.15 TD1-R1-A

8

SCI 衝突実験は完全に成功したことが分かりました。

人工クレーターには「おむすびころりんクレーター(SCIクレーター)」という愛称がつけられました。

2019

2.22 1回目タッチダウン

9

2回目のタッチダウンを「行うべきか、行わざるべきか、それが問題」

もし探査機に重大な損傷が生じれば、1回目のタッチダウンで採取したと思われるサンプルを失う可能性や、地球帰還も危うくなる・・・

2019年5月16日
PPTD-TM1※

5月30日
PPTD-TM1A

6月13日
PPTD-TM1B

6月6日
はやぶさ2運用会議



4.5 SCI運用
4.25 クレーター検索(事後)

10

11

7.11 2回目タッチダウン

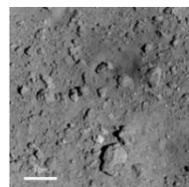
12



8.26 カプセルのフタ閉め

13

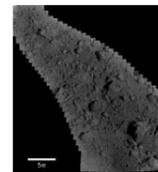
↓人工クレーター周辺を撮影



↓人工クレーター付近にターゲットマーカを投下



↓人工クレーターを観測



9.17 ターゲットマーカ分離

14

議論を重ねた結果、2回目のタッチダウンを行うことを決定。「とにかく慎重に、しかし、勇気をもって大胆に」

10.3 MINERVA-II2分離

15

「1回目のタッチダウンでのサンプル取得は、あんなに苦労した末でのもの。既にサンプルは取得した。なぜ、もう一回サンプルを採りたいなんて贅沢を?時間もない中で綿密に計画を立てられるのか?それで失敗したらどうする?...

11.3 リュウグウ出発

16

衝突実験を大成功させ、地下にあった新鮮なサンプルを採取する可能性のある第2回タッチダウンの前に、こういう空気が流れた。『大人の意見』に聞こえる。が、果たしてそうなのか?『失敗するリスク』と言うが、『可能性があるのにトライもしないことのリスク』はないのか?『失敗するな』との言い方は曖昧だ。ここは、『どういう状態が失敗であり、そうならなければOK』を突き詰めて考えるべきだ。このマインドが突破口になったと思う。」(宇宙科学研究所副所長 藤本)

2020

2020.12.6 地球帰還
小惑星「1998 KY26」へ出発

17

2031年到着予定

※PPTD-TM1: ピンポイントタッチダウンのための低高度降下運用

2014
12.3 打上げ

2014
1

⑫ 2回目タッチダウン成功 2019年7月11日

2015
12.3 地球スイングバイ

2015
2



5月30日に投下したターゲットマーカを目印に着陸を目指したのは、**3億km 彼方の半径3.5mのエリア、「C01-Cb」。**

「当初、着陸目標点は『S01』と呼ばれる地点だった。5月16日、『S01』に向けて降下中にアボート発生。『こんなところでつまづいては第2回タッチダウンは無理か』とチームは意気消沈した。しかし、アボート発生時に『はやぶさ2』が負け惜し

2018.1.10~6.3
イオンエンジン運用

2018
3



みにシャッターを切った写真には、なんと地下物質が豊富で平坦な C01-Cb 地点がくっきり写っていた。こんな最良の着陸点が見つかるとは！ 怪我の功名どころか、最初から運は我々の味方をしていたのかもしれない。すぐに作戦変更、着陸目標を『C01-Cb』地点へ。

そして、チームが磨きに磨いた第2回タッチダウン手順。リスクを科学的に徹底的に明らかにし、安心して決行できるものに仕上げた。

そうして行われた第2回タッチダウンは大成功！その結果も素晴らしいが、そこへ至る長く苦しいプロセスからも、私たちは大事なものを手に入れた気がする。」（プロジェクトマネージャ 津田）



6.27 リュウグウ到着

4

タッチダウンの4秒前

タッチダウンの瞬間

タッチダウンの4秒後



CAM-H(小型モニタカメラ)で撮影

目標エリアの中心から**わずか60cmのずれ**という精度で第2回タッチダウンは成功。

9.12 TD1-R1

5

9.21 MINERVA-II1 分離

6

10.3 MASCOT 分離

7

10.15 TD1-R1-A

8

⑬ 再突入カプセルの“ふた閉め” 2019年8月26日

2019

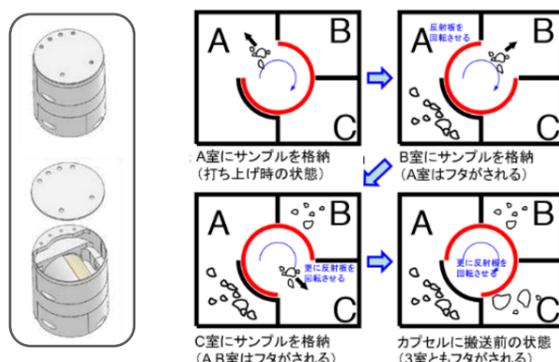
2回のタッチダウンで取得したと思われるリュウグウのサンプル。その“お宝”を地球に届けるための準備が始まりました。地球帰還の準備として最も重要な“カプセルのふた閉め”です。

2.22 1回目タッチダウン

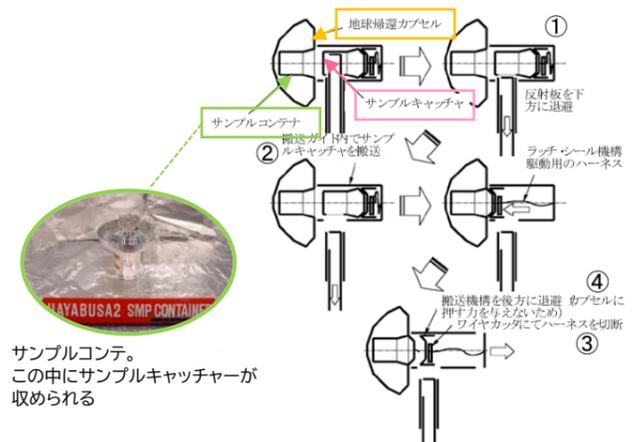
9

サンプルキャッチャー (リュウグウのサンプルが入っている容器)の構造

A室は1回目タッチダウンで、C室は2回目タッチダウンで使用。B室は使用せず



サンプルキャッチャーをカプセル内のサンプルコンテナへ搬送するしくみ



サンプルコンテナ。この中にサンプルキャッチャーが収められる

4.5 SCI運用

10

4.25 クレーター検索(事後)

11

7.11 2回目タッチダウン

12

8.26 カプセルのふた閉め

13

9.17 ターゲットマーカ分離

14

10.3 MINERVA-II2 分離

15

11.3 リュウグウ出発

16

2020.12.6 地球帰還
小惑星「1998 KY26」へ出発

2020
17

2031年到着予定

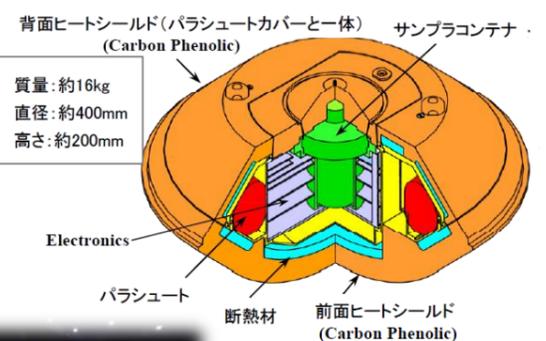
「サンプルラとして最後の役目は、サンプルキャッチャーをカプセル内のサンプルコンテナ内に移動して、密閉することです。カプセル内に移動、蓋をして密閉、最後に電気ケーブルを切断するという一連の動作を一つずつ慎重に進めていきました。サンプルコンテナを密閉する機構は、一番苦労して開発したモノです。無事に動作を完了し、探査機のデータからカプセル内への移動が正常に終わったことが分かったときは何とも表現しきれない気持ちでした。軌道上での役目を全て終え、嬉しくもありますが寂しくもあり。

サンプリング装置としての役目は終わりましたが、サンプルラチームとしての最後の役目はオーストラリアで回収したサンプルコンテナを日本まで運び、キュレーションのクリーンチャンバ内に入れることです。期待通りにサンプルが入っていると信じて、着々と準備を進めています。」

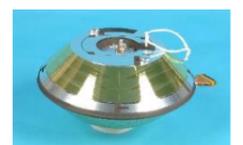
(サンプルラ担当 澤田)

カプセルのふた閉め成功時の写真

再突入(地球帰還)カプセルの内部



質量:約16kg
直径:約400mm
高さ:約200mm



“お宝”は無事カプセルに収納されました。地球への到着が待たれます。

2014
12.3 打上げ

2015
12.3 地球スイングバイ

2018.1.10~6.3
イオンエンジン運用

6.27 リュウグウ到着

9.12 TD1-R1

9.21 MINERVA-II1 分離

10.3 MASCOT 分離

10.15 TD1-R1-A

2019

2.22 1回目タッチダウン

4.5 SCI運用

4.25 クレーター検索(事後)

7.11 2回目タッチダウン

8.26 カプセルのフタ閉め

9.17 ターゲットマーカ分離

10.3 MINERVA-II2 分離

11.3 リュウグウ出発

2020

2020.12.6 地球帰還
小惑星「1998 KY26」へ出発

2031 年到着予定

2014

1

2015

2

2016

2017

2018

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

2020

17

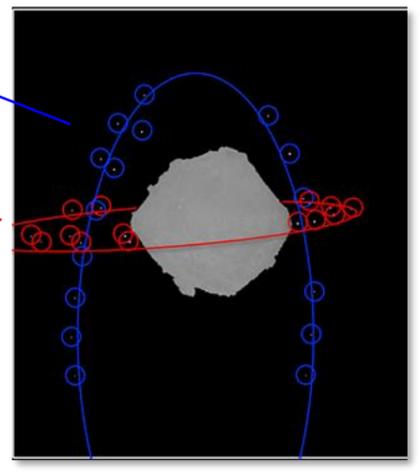
⑭ ターゲットマーカ分離 2019年9月17日

小惑星リュウグウの周りに人工物を周回させる実験を行いました。これがリュウグウでの、最後の挑戦です。



ターゲットマーカC
極軌道:安定かつ周回の観測性がよい
「スプートニク」という名前を付けました

ターゲットマーカE
赤道軌道:重力推定の寄与がより高い
「エクスプローラー」という名前を付けました



人工衛星となり小惑星を周回するターゲットマーカ



←ターゲットマーカEの分離時の写真
降下速度はほぼゼロであるが、探査機が
上昇しながら撮像したので、ターゲットマ
ーカが小さくなっていくように見える。

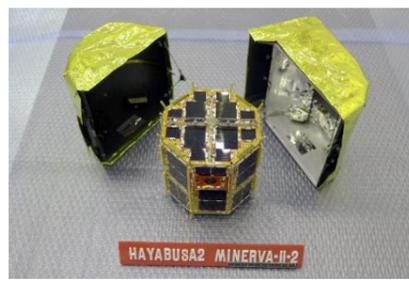
「小惑星を周回させることでリュウグウの精密な重力環境を推定するデータを取得することがこのミッションの目的です。小惑星をぐるぐる周回する僅か10cmの小さなターゲットマーカを2つも撮影するというので、ターゲットマーカの軌道、撮影する探査機の場所や姿勢、撮像条件にこだわって運用を組み立てました。

撮影中は通信の問題で写真を直ぐには降ろすことができず撮れているかドキドキしましたが、無事に綺麗な軌道が撮影出来て嬉しかったです。また、ローバはターゲットマーカよりも暗くてさらに難易度の高いミッションでした。流れ星のように映ったローバ周回の様子をとらえた写真が取れた時は管制室で歓声が沸きました。リュウグウでの最後のミッションを無事に終えることができ良かったです。」

(航法誘導制御担当 吉川建人 写真前列左5番目)



⑮ MINERVA-II2 分離 2019年10月3日



←分離直後のMINERVA-II2(連続写真)

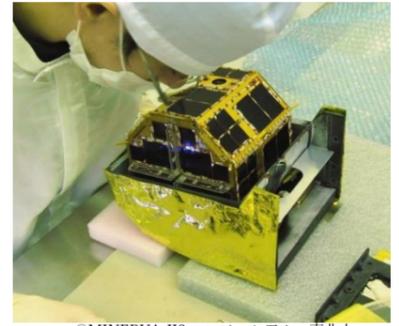
MINERVA-II2に、「ウルラ(ULULA)」という名前をつけました。
ラテン語で「ふくろう」という意味です

「MINERVA-II2(ローバ2)は、東北大、山形大、大阪大、東京電機大、東京理科大の研究者が力を合わせて開発した小型ローバです。いろいろと産みの苦しみはありましたが、はやぶさ2チームの皆さまのご協力をいただいて、ターゲットマーカの分離運用とあわせて、世界初の『最小・複数の小天体周回人工衛星』を実現することができ、分離時や周回中に貴重なデータを得ることができました。またリュウグウ表面到達後には、日照・日陰に同期して無線信号を得ることもできました。この場を借りまして、関係の皆様へ感謝申し上げます。

(ローバ2担当 東北大学 吉田和哉教授【写真1】2列目左5番目)

「ローバ2の開発が本格的にスタートしてからおよそ7年半、次から次へと難題が降りかかる苦勞の多い開発でしたが、無事に分離が確認できた瞬間の、しびれるような安堵感はいまでも鮮明に覚えています。今回の開発に携われたことを幸せに思うとともに、開発から分離運用に至るまでご協力いただいた『はやぶさ2チーム』の皆様には、この場を借りまして心より感謝申し上げます。」

(ローバ2担当 九州工業大学 永岡健司准教授【写真1】2列目左4番目)



©MINERVA-II2 コンソーシアム, 東北大



【写真1】

運用成功の度に撮影してきた記念の集合写真。撮影の機会も残り少なくなってきました。
次は、いよいよリュウグウ出発です。

2014
12.3 打上げ

2015
12.3 地球スイングバイ

2016

2017

2018
2018.1.10~6.3
イオンエンジン運用

6.27 リュウグウ到着

9.12 TD1-R1

9.21 MINERVA-II1 分離

10.3 MASCOT 分離

10.15 TD1-R1-A

2019
2.22 1回目タッチダウン

4.5 SCI運用

4.25 クレーター検索(事後)

7.11 2回目タッチダウン

8.26 カプセルのフタ閉め

9.17 ターゲットマーカ分離

10.3 MINERVA-II2 分離

11.3 リュウグウ出発

2020
2020.12.6 地球帰還
小惑星「1998 KY26」へ出発

2031 年到着予定

2014
1
2015
2
2016
2017
2018
3
4
5
6
7
8
2019
9
10
11
12
13
14
15
16
2020
17

⑩ リュウグウ出発 2019年11月13日

「さあ、前だけを見るときが来た。もう後ろは振り返らない。進路は地球。巡航姿勢をとれ。イオンエンジン点火準備。ありがとうリュウグウ。また逢う日まで」(プロジェクトマネージャ 津田 雄一)



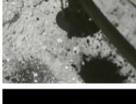
2018.6.27
リュウグウ到着



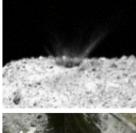
2018.9.21
MINERVA-II1
分離



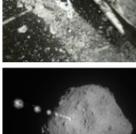
2018.10.3
MASCOT 分離



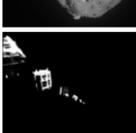
2019.2.22
1回目タッチダウン



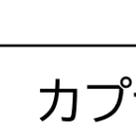
2019.4.5
衝突装置



2019.7.11
2回目タッチダウン



2019.9.17
ターゲットマーカ
分離



2019.10.3
MINERVA-II2
分離

滞在日数 504 日



←2019/11/19 「リュウグウお別れ観測」で「はやぶさ 2」が最後に撮影したリュウグウの画像。この後イオンエンジン噴射のため姿勢を変えたので、リュウグウは見えなくなった。



「遠ざかるリュウグウの連続写真に皆がセンチメンタルに浸る中、イオンエンジン(以下 IES)担当は極度のプレッシャーの中で復路に向けた試運転を行っていました。『着陸を2度も経験した IES は本当に動作するだろうか?』『高電圧をかけた瞬間に壊れないだろうか?』『リュウグウを追いかける往路と違って復路の地球は待ってくれない。ノルマ通りに運転できるだろうか?』色々考えすぎてドキドキだった担当の心配をよそに、1年半ぶりに火を入れた IES は『さあ出番だ!』とばかりにスムーズに起動しました。2019年12月3日午前11時42分、復路運転開始。『IESの安定動作を確認しました。これより、はやぶさ2は地球帰還を開始します。』と管制室に宣言したときは柄にもなく膝が震えました。緊張していたんですね。

地球帰還日は12月6日。地球帰還のための『リエントリー回廊』と呼ばれる細い軌道(通り道)に探査機を入れるための、長い長い IES 運転です。

宇宙は何があるかわからないのでいつも気を抜けません。プレッシャーはかかりますが、これがロケットやエンジンを扱う輸送屋さんの負うべき責務であり、やり甲斐なのでしょう。『ようやく我々の出番ですね』試運転の前日、IES 責任者の西山先生がニヤリと笑ったのが印象的でした。」(イオンエンジン担当 細田聡史 @IES 兄)

「めざす天体は、太陽系第3惑星」(宇宙科学研究所長 國中 均)

打上げ翌年の2015/12/04に「はやぶさ2」が地球スイングバイ後に撮影した地球→画像右上にオーストラリア大陸、右下に南極大陸が見えている。

2020年9月17日午前3時15分、イオンエンジンは運転を完了しました。

カプセル受入れ準備

残された任務は、カプセルを地球に戻すことと、中に入っているはずのリュウグウのサンプルを分析すること。



オーストラリア ウーメラ砂漠

「カプセル回収班の先発隊は、11月1日夜に回収に向けて出国しました。10月30日には相模原市が壮行会を開いて激励していただき市のマスコット「さがみん」も特別隊長に任命されました。私自身は、打上げから6年、開発着手からは10年、ようやくここまで来た、という気持ちで一杯です。

今回は、南半球のオーストラリアでは真夏の炎天下での作業になります。さらにコロナの問題も加わりますが、無事カプセルを回収して日本に持ち帰り、相模原の皆様にもお見せしたいと思います。楽しみにしててください。」(はやぶさ2 追跡管制隊回収主任 中澤暁)

「サンプルチームとしての最後の仕事は、カプセル回収後に、現地ですぐにサンプルコンテナ内部のガスを採取し、簡易の分析を行い、その後日本まで運び、密閉したままキュレーションのクリーンチャンバーに入れることです。はやぶさ2が打ち上げられてから、ありとあらゆる検討と、多くの準備を行ってきました。サンプルの分析という観点では、ある意味ここからが本当のスタート地点です。どんな情報を得ることができるのかと期待すると共に、しっかりとキュレーションのチャンバーという御殿まで運びたいと思います。」(はやぶさ2 追跡管制隊サンプル担当 坂本佳奈子)

「キュレーションチームでは、リュウグウのサンプルを受け入れるための準備を行ってきました。貴重なサンプルを汚染せず・破壊せずに分析・保管するための、清浄度を保ったクリーンルーム、クリーンチャンバーや、各種分析機器を準備しています。

サンプルが相模原へやって来た後、一つ一つの手順を確実に成し遂げるべく、何度もリハーサルを行ってきました。リュウグウの一部を実際に見ることができるようにももうすぐということ、期待と緊張が入り混じった気持ちです。抜かりなく正確に成功させるため、チーム一丸となって頑張ります。」(キュレーション担当 与賀田佳澄)



ウーメラ管理区域



カプセル回収班壮行会
特別隊長就任式
相模原市役所で行われた壮行会



リモートで参加したカプセル回収班メンバー

「いよいよ12月6日にカプセルが帰ってきます! たくさんの仲間の、長年の努力と情熱が、私たちをここまで運んでくれました。カプセルの大気圏突入、そして回収オペレーションは、プロジェクトの集大成です。はやぶさ2チームらしく、最後まで、しっかり、大胆に、作業を進めたいと思います。乙姫様のお宝を開封し、皆さんに報告できる日を楽しみにしててください。」(プロジェクトマネージャー 津田雄一)



カプセルの到着を待つ宇宙科学研究所

Play Back HAYABUSA2

2021年 新年号



オーストラリア・クーパーベディから見た火球
2020年12月6日 2時29分ごろ(日本時間)



↑オーストラリア・ウーメラでのカプセル回収の様子
2020年12月6日



←サンプルキャッチャーA 室内の
粒子(容器の直径48mm)
2020年12月15日



日本へ帰国前のカプセル回収班メンバー。オーストラリア・アデレード空港にて 2020年12月14日



TCM-5(地球圏離脱のための軌道修正)の成功を確認し、喜ぶプロジェクトメンバー
2020年12月5日

新年あけましておめでとうございます。

相模原市民のみなさま、いつも「はやぶさ2」を応援していただきありがとうございます。

昨年わたしたちは、お宝がたくさん入った“リュウグウの玉手箱”を無事手にすることができました。

はやぶさ2ミッションは、探査機で起きていること、管制室で起きていることをいつもとてもたくさんの方が見守ってくださいました。ときには固唾をのんで、またときには心配顔で。それがチームメンバーにとってどんなに力になったことか。

また、コロナ禍の中で行われたオーストラリア・ウーメラでのカプセル回収は、国内外の多くの方々のサポートが無ければここに来ることすらできなかったということを忘れることなく、自分たちの任務を遂行することに集中しました。周囲からのサポートを得ることと自ら頑張ることについて深く考えさせられました。

今年は「はやぶさ2」が届けてくれたリュウグウのサンプルの分析結果などをみなさまにご報告できると思いますので楽しみにしててください。いったいどのようなことが分かってくるのか、わたしたちもとてもわくわくしています。

「はやぶさ2」プロジェクトチーム一同



はやぶさ2
プロジェクトサイト

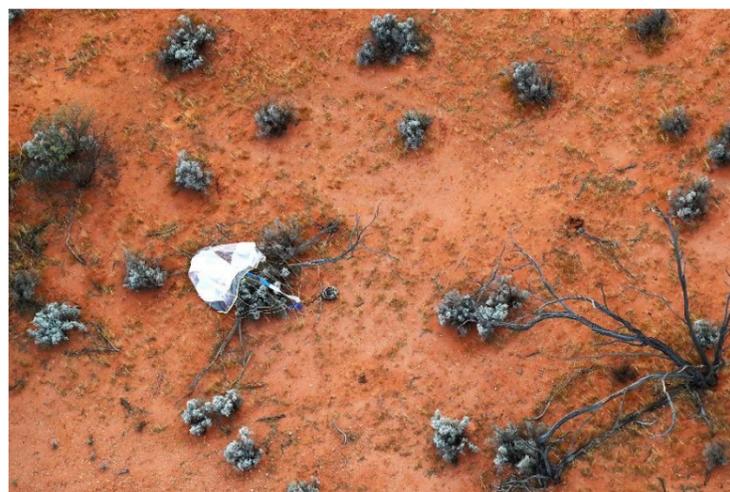


はやぶさ2
特設サイト

Play Back HAYABUSA2

2021年2月5日号

2020年12月6日 02:29(日本時間・以下同様)火球が確認され、オーストラリア・ウーメラ砂漠に着地した「はやぶさ2」のカプセル。今回はカプセル回収から相模原キャンパスへ向けた輸送開始までをご紹介します。



2020/12/6 04:47 にヘリコプターからカプセルとパラシュートを発見しました。



カプセル回収作業。火工品の安全確認を行いながら慎重に。



カプセルを現地本部へ運び入れます。



08:03 現地本部へ搬入。作業の結果、カプセル本体からリュウグウ由来のガスが採取されました。



12/7 22:30 オーストラリア・ウーメラ空港から日本に向けて輸送が開始されました。いざ、相模原キャンパスへ!

カプセル公開
準備中!

詳細が決まり次第相模原市のホームページなどでお知らせします。



Play Back HAYABUSA2

2021年2月25日号

「はやぶさ2」
帰還カプセル公開！

相模原市立博物館 世界初公開展示!!
国立科学博物館 3/27 (土) ~4/11 (日)

3/12 (金) ~3/16 (火)

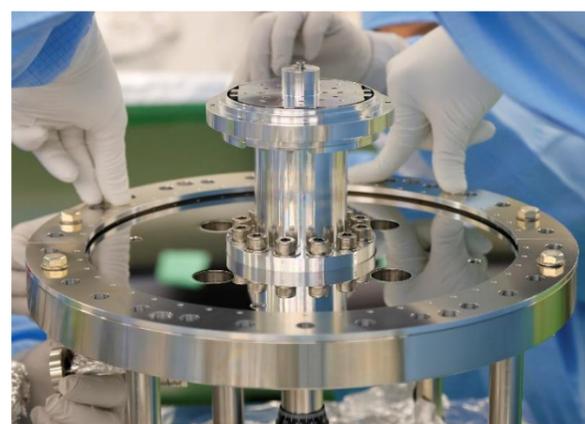


詳細は各博物館のウェブサイトでご確認ください

2020年12月7日夜にオーストラリア・ウーメラ空港から日本に向け輸送されたサンプルは、翌8日、朝8時半ごろ相模原キャンパスに到着しました。



市民のみなさんやプロジェクトメンバーが出迎える中、6年前に相模原キャンパスから旅立ったカプセルが故郷へ帰ってきました。



キュレーションクリーンルームでサンプルコンテナ開封作業が始まりました。撮影日 12月10日・11日

12月5日のウーメラは、昼まで雨。午後から快晴となるも、強風は真夜中まで続いた。それが、カプセル再突入の12月6日朝4時まで弱まり、パラシュート開傘後のカプセル軌道推定もスムーズに進んだ。着陸点を割り出し、すぐに回収隊員を載せたヘリを夜明け前に離陸させた。で、目視確認にちょっと苦労した。あれは夜明けを待つべきだったという意見もあるけど…待ってたと思いますか？（藤本正樹、副所長/カプセル回収班）

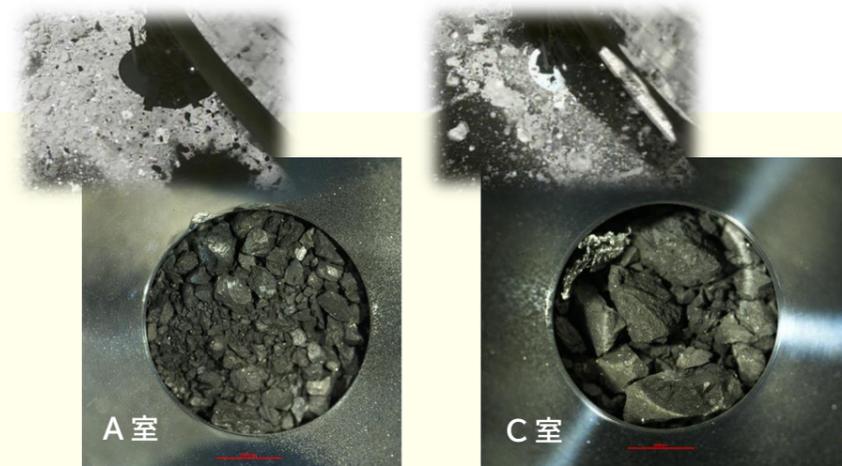
工学と理学が密に連携して、10年かけて開発したサンプラーは無事にリュウグウで作動し、期待以上の石や砂を持ち帰ってくれました！キュレーション施設では写真撮影や重量測定などこれからの科学分析や将来のサンプル配布に向けた準備が進んでいます。大漁の試料を使ってさまざまな分析ができそうです。いよいよ始まるリュウグウ試料分析からの成果も楽しみにしていきましょう。（橘省吾、サンプル科学主任）



はやぶさ2
プロジェクトサイト



はやぶさ2
特設サイト



サンプルコンテナの底に黒い砂粒が確認されました。
撮影日 12月14日

1回目タッチダウン(2019/2/22)で採取

2回目タッチダウン(2019/7/11)で採取

その後サンプルキャッチャーには、合計約5.4gのリュウグウのサンプルが入っていたことがわかりました。目標としていた0.1gを大きく超える量です。撮影日 12月24日 光学顕微鏡像

「はやぶさ2」が運んでくれたお土産、3億km彼方の小惑星のかけらが、いまわたしたちの近くにあるのです。