

# 「はやぶさ2の現場から - 史上初のサンプルリターンへの挑戦 -」 ＜第3回＞「ピンポイント着地に挑む ～着陸精度を飛躍的に高めた軌跡～」

## 質問・回答集



回答者 第3回講師  
照井 冬人 先生  
※一部科学館スタッフが回答

おしえて！  
照井先生！



### 姿勢制御に関する質問

#### はやぶさ2の姿勢制御で1番難しかったことは何ですか？

講演の際にもお話しましたが、なによりも小惑星のこぼこの激しさです。タッチダウンに適した岩の数が少なく、岩の高さが低い場所を探しても狭い場所しか見つからず、当初の計画よりも精密にタッチダウンすることが求められました。これはピンポイント・タッチダウンの手法やそれ以外の工夫で何とかかなりでしたが、実際に降下する際にも表面のこぼこでレーザー距離センサーの計測値に誤差が入ってしまいタッチダウン精度が悪くなるので、ある段階では使用するのをやめるなどの対策を取らざるを得ませんでした。  
小惑星表面のこぼこに加えて、表面が暗くて表面に当てたレーザーが反射してくる強さが弱く距離計測が難しかったことも大きな問題でした。この問題が原因で探査機が自動で急上昇することも2度あったくらいです。(照井先生)

#### ジャイロって何？

ジャイロスコープの略で、物体の角度や角速度（ある点を回る回転運動の速度）を検出する装置のことです。小惑星リュウグウは予想以上に岩だらけだったため、はやぶさ2の4本のレーザーセンサーではなく、このジャイロを使って傾きを測っていました。(照井先生)

#### 何人の人たちではやぶさ2の姿勢制御をしているの？

姿勢制御を担当しているのは、誘導制御サブシステムメンバーの5名です。(照井先生)

#### デッドバンドを減らしたとのことですが、スラスターの噴射も短くするなど細かい調節ができるようにしたのですか？

デッドバンドを減らすにはあんまり強くピンタしてはいけません。やさしくやさしく、複数回、力を加えると素直に言うことを聞いて、真ん中の方に寄ってくれます。いきなりピシャーッと大きな力を加えると、逆に反対側に振れてしまって、あまりいいことはありません。小さい力を加えるときには、スラスターの噴射時間はとても短いので、15/1000秒くらい。シュッととても細かく噴射して位置を制御していました。(照井先生)

機械が動く時の反応のズレを  
デッドバンドと言っているよ  
機械をうまく調節しながら着地点を目指すんだ



### ターゲットマーカに関する質問

#### ターゲットマーカの10cmという大きさを考えると、分離した後見つけるのが大変そうですが、反射した光ですぐ見つかるものなのでしょうか？

講演の際にもお話しましたが、フラッシュランプで照らしても距離45+10mが、搭載しているカメラの画像で明るい点として認識できる距離の限界です。この距離だと画像の中の1ピクセル（最も小さい点です）程度の小さな点としてターゲットマーカは映ります。でも小惑星をバックに撮った画像だとターゲットマーカは小惑星表面よりも明るいので何とか見つけることができます。これには小惑星が思っていたよりも黒かったことが有利でした。(照井先生)



リュウグウが  
黒くてよかった！

#### ターゲットマーカは何万人かの人々の名前を募集して小さく書いてあると聞いたのですが、なぜ募集する必要があったのですか？

はやぶさ2は小惑星リュウグウの表面にミネルバ、マスコットというローバー（小型ロボットみたいなものです）、衝突装置（落とすというよりはぶつけた）、5個持っていった中の4個のターゲットマーカを地球からの人工物体として、小惑星表面に落としました。せっかく落とすのだから、もしかしら宇宙人が読んでくれるかもしれないと思って、皆さんの名前を募集して書いてみました。(照井先生)

#### ターゲットマーカはどのように狙いを定めて落とすのですか？

ターゲットマーカはタッチダウンをする場所の近くに落としたいので、タッチダウンのときと同じように、高度20mのところから、地上から右へ左へと指令を出して、なるべくタッチダウンしたい場所の上空ギリギリまで降りていき、そこから落としました。ターゲットマーカをタッチダウンしたい場所のできるだけ近くに落とすことが大事ですが、これはある意味賭けでした。狙ったところに落とせなければ、もう1個ターゲットマーカを落として違う場所にタッチダウンをするということも、可能性としてはあったので、かなりラッキーでした。(照井先生)

#### ターゲットマーカの分離の順番はどうやって決めているのですか？

これは確か皆さんの名前を内部に書いたものを先に落とすとか、衝突装置（SCI）を分離する際に邪魔にならないように先に落とすものを決めていた気がします。詳しくはプロジェクトマネージャの津田が最後に講演しますので、彼に聞いていただければ詳しいことがわかると思います。(照井先生)



ターゲットマーカを  
落とすのだから  
大変なことなんだね

気になることがあったら、本や、はやぶさ2プロジェクトのホームページなどで  
どんどん調べてみよう！

### ピンポイント・タッチダウンとは、普通のタッチダウンとはどのように違うのでしょうか？

普通のタッチダウンでは、分離したターゲットマーカーを追いかけられるようにして降下していくのに対し、ピンポイント・タッチダウンでは、すでに地面に落ちたターゲットマーカーに対して、着陸位置を決めて降下していきます。第3回照井先生のご講演（開始から21分経過したあたり）で詳しくご説明されています。（科学館スタッフ）

### ピンポイント・タッチダウンのアイデアははやぶさ初号機のとどこからあったのでしょうか？いつ頃どのようにして発案されたのですか？

ピンポイント・タッチダウンのアイデアは、はやぶさ2打ち上げから約4年前の開発段階に出たもので、はやぶさ初号機のプロマネだった川口先生のアイデアです。衝突装置で作ったクレータの真ん中にタッチダウンするために複数個のターゲットマーカーを使って何回も降下・上昇を繰り返して最終的にクレータの近くにターゲットマーカーを落とすことで高精度なタッチダウンを実現する計画でした。まさか通常のタッチダウンにこの方法を使うとは考えていなかったもので、今更ながら素晴らしいアイデアだったと思います。（照井先生）

落としたターゲットマーカーを目印にして、着陸するところを決めるよ！



### 1回目と2回目のタッチダウンでは、どちらの方が難しかったですか？

両方難しかったですけどどちらかといわれると…1回目ですかね。タッチダウンが難しかった本質的な部分というのは『でこぼこ』で、降りられる場所が小さかったことです。それに対する対策は1回目のタッチダウンのときにできましたが、やっぱり1回目の方が難しかったです。ただ、2回目は楽勝だろうと思っていましたが、そうではなくて。1回目のときに舞い上がった砂でカメラやレーザーセンサーが汚れてしまい、画像は暗くなるわレーザーセンサーの感度は落ちるわで、性能がガタ落ちでした。2回目のときにはその対策をしなければならず、それはそれで大変でした。（照井先生）

でこぼこだと降りられないよ〜！



### タッチダウンのときははやぶさ2の角度や傾きはどのように決めているのでしょうか？

サンプラーホーンが折れないかどうかは心配していましたが、変に斜めにタッチダウンしたらどうしようと思っていました。小惑星の表面に做うように、正面を向くようにちゃんと姿勢をとらなくてはいけないので、10度ぐらいであれば斜めに降りても壊れないということは確認していましたが、岩のでこぼこで誤差が生じるレーザーは使わず、ジャイロから計算される傾きを使って姿勢を決めていました。（照井先生）

### ピンポイントで着陸させるのは、100%中の何%の確率でできるのですか？

解析の結果でいうと、ほぼ100%ですね。逆に100%じゃないとJAXAの上の人が許してくれないですよ（笑）。1回目のタッチダウンに関しては、ほぼ100%の確率でうまくいくと思っていました。ただそれはターゲットマーカーがうまく落ちたというラッキーな部分もあってのことですね。1回目よりも2回目のタッチダウンの精度が良くなったのは、ターゲットマーカーがタッチダウンの場所の近くに落ちて、高度20kmから下まで降りていくときの誘導制御が上手になっていったということも関係しています。何度も何度も訓練をして誘導制御が上手になっていったということは自信ではありましたね。（照井先生）

### タッチダウンのときの運用訓練とはどのようなことをするのですか？本番よりもつらかった訓練について教えてください。

リュウグウ到着の1年前ぐらい、2017年の4月から少しずつ訓練を始めました。最初は誘導制御のメンバーだけで始めました。シミュレーションの中で、小惑星と探査機があって何時何分ここにいるという状態をつくり、「こういう力を加えたらこっちに動くだろう」と、実際と同じような動きをさせることができるので、とにかくちゃんと降下できるかを練習していました。到着の1年前の4月から練習を始めましたが、実は最初は全然降りられなかったんです。うまくいかなかった度になぜダメだったかを詳細に調べて、「あ、ここがいけなかったんだ」というのを繰り返すのが大体2、3か月くらい続きました。その時期が一番つらかったんですが、その時期が一番有益でした。（照井先生）

### 照井先生のこれからやりたいことは何ですか？

実は今年の3月末でJAXAを定年退職しましたが、はやぶさ2が地球に戻ってくるまではJAXAで働くつもりです。はやぶさ2の経験から得た教訓から、「こうしたらもっと良くなる」、「こんなことを更にやってみたい」と思うことはたくさんあります。小惑星探査は、はやぶさ2で終わるわけではないし、火星や月にタッチダウンする計画もあります、地球の周りをまわっている壊れた衛星や捨てたロケットなどの宇宙ゴミを回収する宇宙ロボットの開発なども進んでいます。これらに自分の経験を生かせるような仕事をこれからも続けていきたいと思っています。（照井先生）

### これまでのはやぶさ2のミッションを振り返って、照井先生が1番印象に残っていることは何ですか？

やっぱり、高度0mまで降下するという最も危険な運用である最初のタッチダウンです。実施までに十分に準備していたので成功の自信はありましたが、不安が無かったわけではありません。降下開始からタッチダウンまであらゆることが問題なく行かないと成功しないので、最初から最後まで気が抜けませんでした。（照井先生）

### 宇宙に関わって後悔したことはありますか？

ないです（即答）。（照井先生）

宇宙に関わる仕事、してみたいなあ



## 子どもの頃の将来の夢は何でしたか？

ちょうど私が小学校3年生のときにアポロ13号の月着陸があったんですね。やっぱりそういうのに影響を受けて宇宙が好きでしたね。最初は飛行機が好きで航空関係の仕事をしたいなと思っていて、パイロットもいいなと思ったりもしていたんですけど、子供心にいつか自動運転になったらいらなくなるだろうなと。その後はやっぱり宇宙をやりたいなと思っていて、小学校6年生くらいから漠然と宇宙開発をやりたいとは思っていました。(照井先生)

## 小学生のときにやっておいた方がよかったこと、あるいはやっていてよかったことは何ですか？

小学校、中学校のときに勉強もそこそこしていたけど結構運動をしていて体を鍛えていたと思いますね。結局、定年退職直前まで本当に夜なべして働くような仕事のできたのは、やっぱりそれなりに体が強かったからだと思います。健康体を維持できるように、体を鍛える、丈夫な体をつくってこれたのが良かったんじゃないかと思えますね。あとは、好きなことへのモチベーションの動機付けは強いですね。だから自分がやりたい、好きなことを見つけられるのは良いことだと思います。(照井先生)

体をきたえる！



## リアクションホイール4つはどのような向きではやぶさ2に搭載されているのですか？

リアクションホイールとは、モーターの軸にフライホイール円盤がくっついていて、コマのようにくるくる回っているものですが、円盤が加速したり減速したりする反作用で自分自身に力が加わり、探査機の向きを変えるという装置です。宇宙空間ではX軸・Y軸・Z軸の3軸に自由に向きを変えられるように、3軸にひとつずつリアクションホイールを積んでいます。はやぶさ2はZ軸に2つ積んでいて、Z軸で片方が壊れてもう片方が使えればいいというやり方になっています。はやぶさ初号機は3軸にひとつずつでしたが、X軸とY軸のリアクションホイールが壊れてしまったんです。はやぶさ初号機の『Z軸だけで生き残って地球まで戻ってきた』という経験・教訓から、はやぶさ2ではZ軸だけは余計に1個積んで絶対壊れないように、XYZZという構成にしています。(照井先生)

## はやぶさの機内にはどのような工夫があるのですか？

探査機は打ち上げロケットの能力で重さと大きさに制限がありますので、実はスマホみたいに中身がギュウギュウに詰まっているわけではなくて隙間が多いです。何よりも、打ち上げの際のロケットからの振動が物凄く大きいので、内部はそうのように激しく振られても機器や配線、配管が外れないように、探査機を形作る箱の板（「ハニカムパネル」と呼びます）や内部の仕切りの壁（「バルクヘッド」と呼びます）にしっかりと固定されています。(照井先生)

## リアクションホイールは、どのようなおおきさですか？

直径20cm程度です。記者説明会資料18ページ写真が掲載されています。(科学館スタッフ)  
[https://fanfun.jaxa.jp/countdown/hayabusa2/press/files/20190924\\_hayabusa2.pdf](https://fanfun.jaxa.jp/countdown/hayabusa2/press/files/20190924_hayabusa2.pdf)

## なぜいいカメラを積まなかったのですか？

何が良いかですが…。例えば解像度が良いとか、暗くてもよく見るとかがありますが、お金とスケジュールとの問題ですね。当然、はやぶさ2では初号機より良いカメラを載せたつもりではいますが、スマホのカメラに比べればカメラの解像度は低いものでした。良いカメラを載せたいという思いはありましたが、宇宙でも壊れない、信頼のあるものということで選びました。(照井先生)

## 1回目のサンプリングと2回目のサンプリングは混ぜてしまっているのですか？別々の入れ物に入れているのですか？

別々です。私の担当ではないですが、確か3か所ぐらいに3分割になっていて、混ぜられないようになっています。(照井先生)



ここまでご覧いただき  
ありがとうございました。

こちらの質問・回答集は、2020年7月11日に配信したトークイベント「新型コロナウイルスに負けない！はまぎんキッズ・サイエンス YouTube トークイベント Vol.7 「はやぶさ2の現場から - 史上初のサンプルリターンへの挑戦 -」 < 第3回 > 「ピンポイント着地に挑む～着陸精度を飛躍的に高めた軌跡～」の配信時、事前質問受付にて寄せられた質問をもとに作成しております。

過去の放送はこちらからご覧ください。  
 (科学館公式 HP イベントページ)

参考：「はやぶさ2」プロジェクトウェブサイト  
 URL：http://www.hayabusa2.jaxa.jp/



気になることがあったら、本や、はやぶさ2プロジェクトのホームページなどで  
 どんどん調べてみよう！