



科学技術を体感で理解するスゴロク製作 -小惑星探査機はやぶさ2を題材としたスゴロク 「スゴはや2」-

宮崎 珠実 (高1)、久保 公貴 (高3)、小林 宇宙、深堀 貴雄 (高2) 【東京工業大学附属科学技術高等学校】

要旨



科学部では、天文宇宙の科学技術プロジェクトを題材にし、科学技術コミュニケーションプロジェクトを行っている。小惑星探査機はやぶさ2 [1]を題材とした「スゴはや2プロジェクト」 [2]では、2017年11月にスゴロク「スゴはや2」を製作し、改良を続けてきた。はやぶさ2の科学的・技術的要素を取り入れ、スゴロクのしかけによる難度とその達成によりミッションのおもしろさやレベルの高さを体感で、子供にもわかりやすく伝える方法を考え出した。ここでは、しかけマス「地球スイングバイ」を取り上げ、その科学技術をスゴロクのしかけに変換する方法を紹介する。





背景

小惑星探査機はやぶさ2(図1)は、その6年間の行程で、小惑星リュウグウでのサンプル採取に成功し、2020年12月3日に地球に帰還した。私たちはこのようなビッグな科学技術プロジェクトについての一般の人の先入観を乗り越える方法を考え、長期間続くプロジェクトの応援につなげたいと思った。そこで、私たちは、プロジェクトの科学的な意義や価値、ミッション達成のためのハイレベルな技術を「体感」してもらい、「難しい・わからない」という先入観を回避するスゴロク「スゴはや2」を製作した。

「スゴはや2」は、小学生以上を対象とし、しかけマスにははやぶさ2の科学的・技術的要素を可能な限り正確に取り入れた。

スゴロクのしかけをクリアする達成感により、はやぶさ2のミッションの科学的価値や意義・ハイレベルな技術を直感的に体感できるようにした。



図1 小惑星探査機「はやぶさ2」

目的

はやぶさ2の科学的・技術的要素を可能な限り正確に取り入れ、小学生以上を対象とするスゴロクを製作する。スゴロクの難度や達成感により、はやぶさ2のミッションの科学的価値や意義・ハイレベルな技術を直感的に体感でき、苦勞の共有や好感で「難しい・わからない」という先入観を回避するしかけマス「ミッションマス」を製作する。



基礎知識

スゴはや2の製作

私たちが製作した「スゴはや2」(図2)は以下の3つの特徴を持つスゴロクである。

- 時系列
- 科技要素
- 体感

スゴロクルート上には、はやぶさ2の行程が展開されており、ミッションを体験できるしかけマスが「時系列」に配置されている。そのしかけマスには、ミッションの「科学的・技術的要素」を取り入れ、ミッションの難しさにフィットするスゴロク手法を組み合わせた。ミッションの難度をスゴロクのしかけの難度に置き換え、それをクリアする達成感により、はやぶさ2のハイレベルな技術や科学的な意義・価値を「体感」できるようにした。

スゴロク手法による「体感」で直感的に「スゴい」を伝えるスゴロク



地球スイングバイ
2015年12月03日成功!

サイコロをふって、出た目のルートへすもう!
 ♠: スピードとほうこう、りゅうほうともそろったせいこう! -ルート1へすむ
 ♣: スピードがたりない! -ルート2へすむ
 ♠: ほうこうがずれた! -ルート2へすむ

タッチダウン (着地)
©JAXA

♠: タッチダウンせいこう!
 ♣: タッチダウンちゅうだん!
 ♠: もう1かいサイコロをふる。

スイングバイとは

ちきゅうにてつだって
 もらって、リュウグウ
 のほうこうへ
 スピードアップさせて
 もらうこと。

**リアクションホイール
メンテナンス**

えいせいのむきを
 なおす、たいせつ
 なそうちをリセッ
 トする。

2マスもどる

しかけマス 知識マス アクシデントマス

図2 スゴロクはやぶさ2「スゴはや2」パーフェクト版



基礎知識

スゴはや2の3つの特徴は、プレイヤーにとって以下のように働くと考えられる。

時系列 : プロジェクトの行程が一目でわかる年表

科技要素 : アウトリーチの理解を手助けするヒント

体感 : 苦労や意義・価値の共感から興味関心を促進する推進薬

「科学技術を体感するスゴロク」の条件

以下の要素がある科学技術プロジェクトは、スゴはや2と同様に、体感科学技術スゴロクの製作が可能であると考えている。

- * プロジェクトにスタートとゴールが存在する
- * 重要なイベント(ミッション)が時系列で並べられる
- * イベント(ミッション)の内容とマッチするスゴロク手法が存在する

そして！ * 進行中のプロジェクトは必ずゴールする

重要！



原理

地球スイングバイの原理

スイングバイは、惑星の引力圏に入り、その公転速度を利用して、エンジンをほとんど使わずに探査機の「軌道を変え」、「加速（・減速）」を行う航法である。図3は、地球を利用した加速スイングバイの模式図である。

地球スイングバイ後の探査機の軌道は、探査機が地球引力圏に侵入した時の「地球相対速度 V_e 」および地球の地心に対する「侵入距離」によって確定する。そのため、スイングバイの成否は、図3の通り、引力圏に侵入した時の太陽相対速度 V_{in} と引力圏を離脱する時の太陽相対速度 V_{out} との速度増加量である ΔV を用いて判断される。

スイングバイ
成否の判断指標は「 ΔV 」

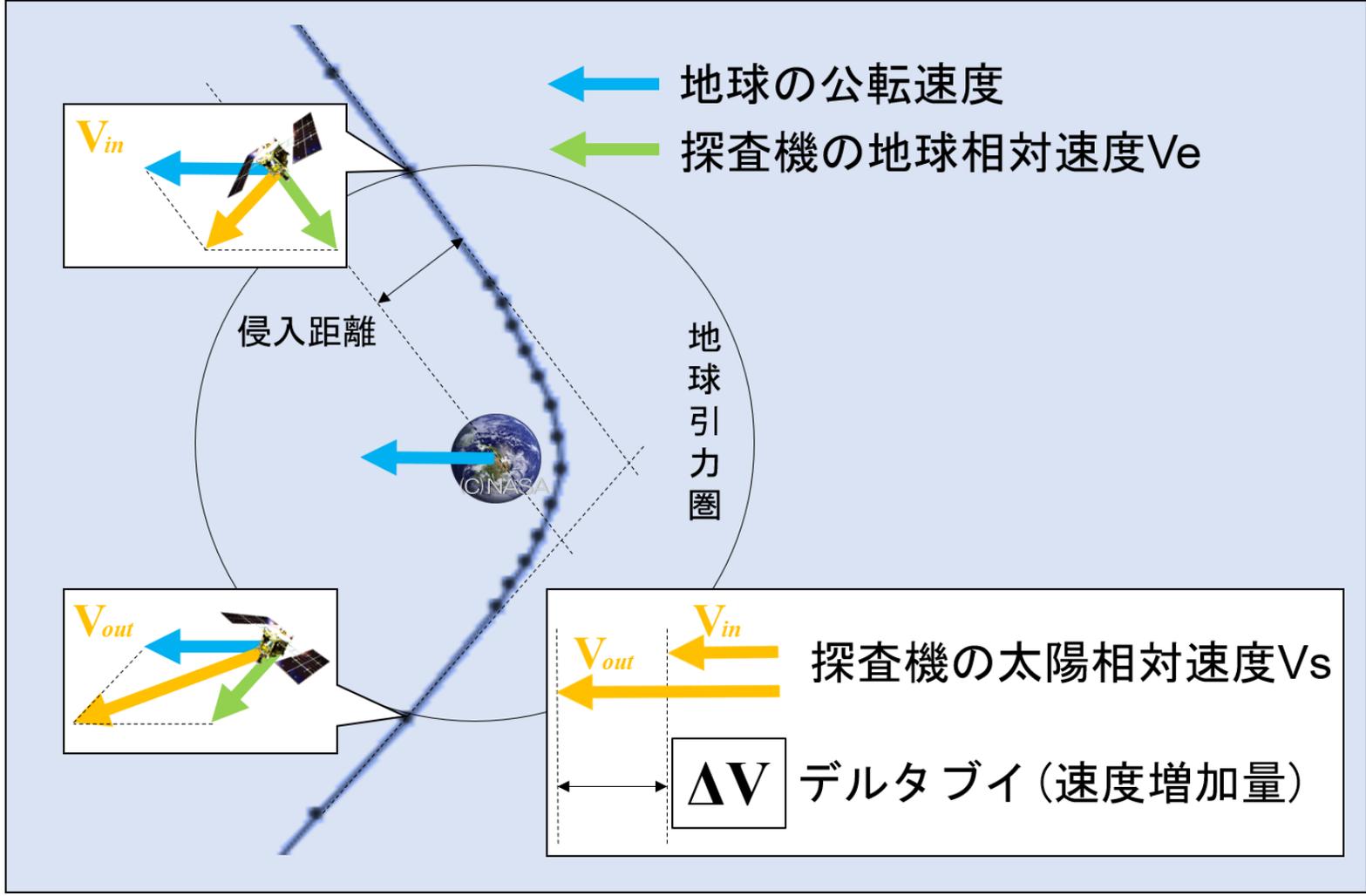


図3 加速スイングバイの原理



製作

はやぶさ2の地球スイングバイ

はやぶさ2は、2015年12月3日に地球スイングバイを実施し約1.6 [km/s]の増速に成功した。

図4は、地球スイングバイ時における事前に設計された探査機の軌道である。はやぶさ2の場合、地球引力圏侵入時の太陽相対速度 V_{in} は30.29 [km/s]で、離脱時の太陽相対速度 V_{out} は32.05 [km/s]であり、今回私たちがここで設定したスイングバイ期間における ΔV は1.76 [km/s]である。

- * 作図上の留意点
 - ・ 地球スイングバイの期間を、はやぶさ2プロジェクトが公開している地球スイングバイの軌道データ[3]に基づき、「UTC 2015/12/3 1:00:00」(太陽相対速度 V_s の増加開始)~「UTC 2015/12/3 17:00:00」(太陽相対速度 V_s が一定値となる時刻)と設定し、探査機の位置を1時間間隔でプロットした。
 - ・ 軌道が著しく変化する9:00~11:00の期間を、スイングバイの中心時間帯とし、10分間隔でプロットした。

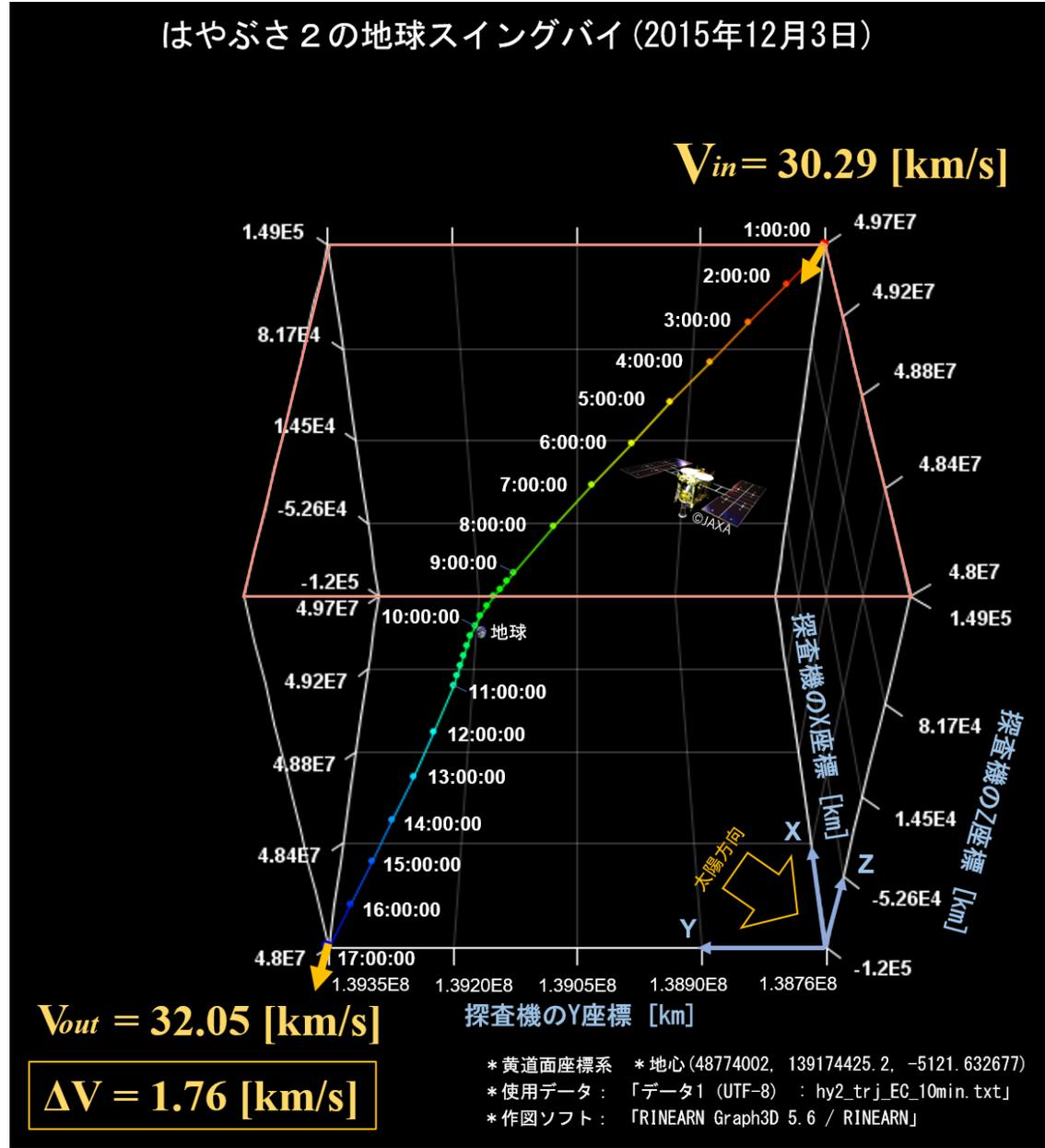


図4 地球スイングバイにおける速度増加量 ΔV



製作

スゴはや2におけるスイングバイの「翻訳」

私たちは、体感をつくるにあたり、スイングバイを軌道選択の一種ととらえ、はやぶさ2がスイングバイの間、図5のように、その軌道上の各時点で「所定の時刻・位置で設計された方向に、設計された速さで通過する」と規定した。

これは、加速・減速の指標である ΔV が、子供にも一般にも馴染みがない言葉・内容であり、専門用語である ΔV の解説がスゴロクの紙面上に収まりきらなかったためである。

軌道上の各時点で「決められた方向」に「決められた速度」で進行するミッション

- * 作図上の留意点
 - ・ 図5は、図4と同様に、地球スイングバイにおける1時間ごとのはやぶさ2の位置をプロットしたものである。
 - ・ 軌道図上側と左側に位置する各々のベクトルは、各時点での太陽相対速度Vsを示している。

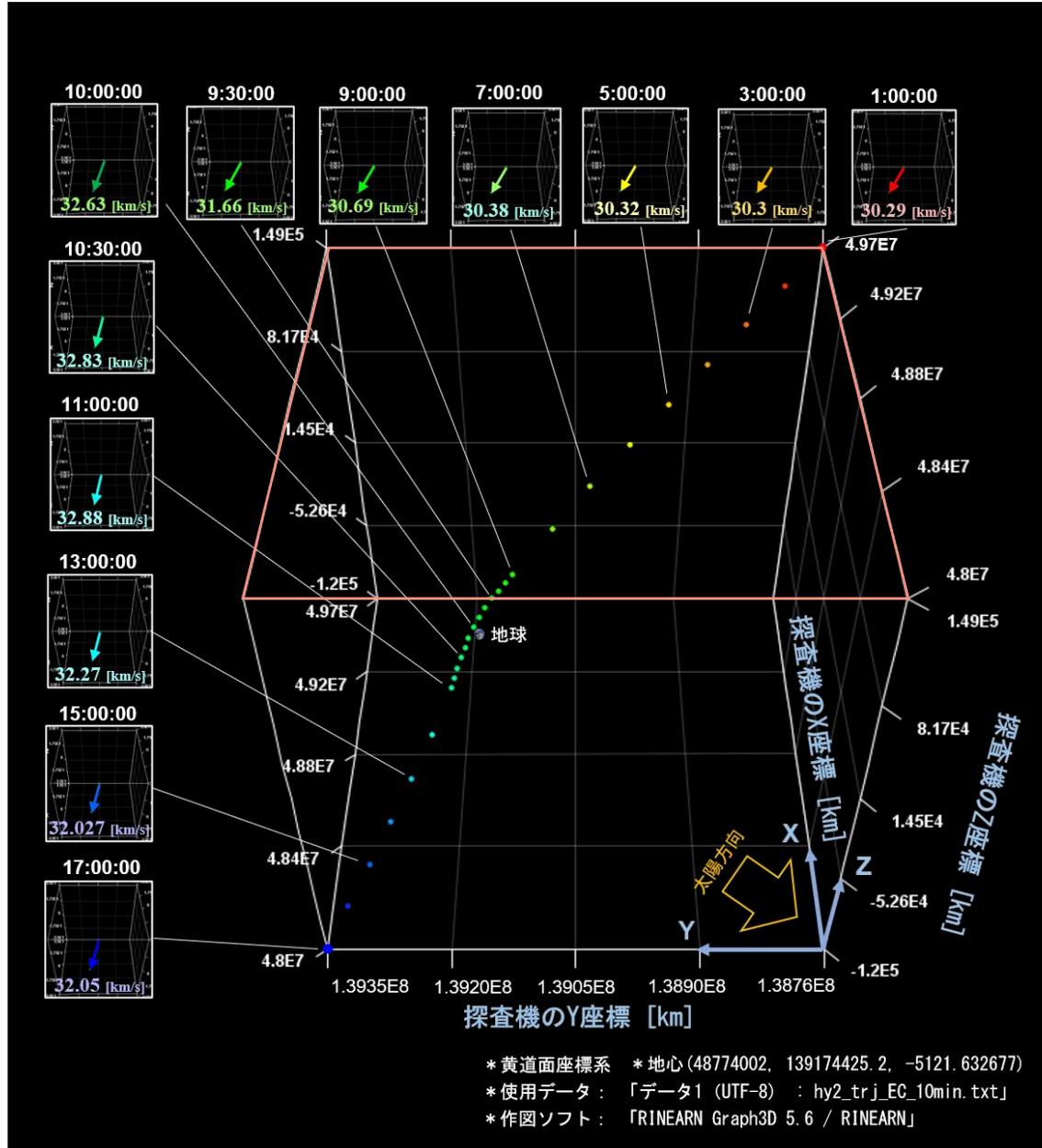


図5 地球スイングバイにおける各時点でのベクトル

* 黄道面座標系 * 地心 (48774002, 139174425.2, -5121.632677)
 * 使用データ: 「データ1 (UTF-8) : hy2_tr_j_EC_10min.txt」
 * 作図ソフト: 「RINEARN Graph3D 5.6 / RINEARN」



製作

ミッションマス「地球スイングバイ」

以上を踏まえて製作したミッションマス「地球スイングバイ」を図6に示す。地球スイングバイ中のはやぶさ2の各時点における「ベクトル」を、対象とする小学生にとってイメージしやすい「スピード」と「ほうこう」に置き換え、マスの選択肢を製作した。

表1の通り、地球スイングバイは、各点での「スピード」と「ほうこう」の2つの要素が揃って成功することを利用してサイコロの出目による分岐を作り、ルートに分けた。両方揃えば、プレイヤーは最短のルート1を通ることができる。2要素のどちらかが揃わなかった場合、プレイヤーはルート2を通り、遠回りする。ルート2の長さは、スイングバイ後の軌道の修正に時間がかかることを示し、長くなればリスクが増えることを赤い「アクシデントマス」で表した。



図6 ミッションマス「地球スイングバイ」

表1 ミッションマス「地球スイングバイ」の結果

サイコロ出目	スピード	方向	スイングバイ成否
1, 2, 3, 4	○	○	Route 1
5, 6	×	○	Route 2
1, 2, 3, 5, 6	○	×	Route 2
4	×	×	考慮せず



製作

スゴはや2の方法では、はやぶさ2の軌道が変わっていることを体感できるが、地球スイングバイによってははやぶさ2が加速していることは表現できていない。

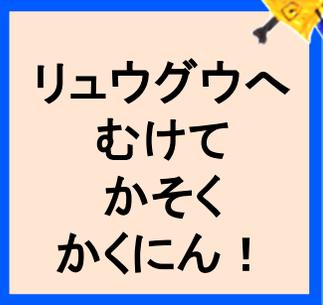
そこで、ミッションマス「地球スイングバイ」(図6)後に以下のマスを追加し、改良した。



きどう しゅうせい がひつよう

軌道修正

スピード・ほうこうどちらかが揃わなかった場合、スゴはや2では軌道修正を行う。はやぶさ2プロジェクトは実際のプロジェクトであるため、必ず軌道修正は成功する。



リュウグウへむけてかそくかくにん!

加速

ルート1・ルート2両方の終わり、つまり地球スイングバイが終わるとはやぶさ2は加速する。このマスにより、地球スイングバイによる加速を表現した。



図6 ミッションマス「地球スイングバイ」



まとめ

ミッションマス「地球スイングバイ」では、スイングバイをイメージしやすく「スピード」と「方向」の2要素に分けて表現することで、スイングバイの難度を直感的に理解でき、プレイヤーに好評であり、目的は達成できたと考えている。しかし、体感を作るためには、科学的・技術的正確さを損ねてはならない。私たちの考えた体感科学技術スゴロクが専門家の先生にとっては応援になるかどうか、伺いたいと思っている。

条件を満たせば、このスゴはや2と同様に、天文をはじめ他の分野でも体感科学技術スゴロクの製作ができると考えている。体感科学技術スゴロクの製作により、特に子供たちに、私たちが様々な科学技術についてプロジェクトをよく理解することができる楽しみがあり、多くの人に体感を通してビッグな科学技術プロジェクトを身近に感じてもらうことができると考える。

謝辞

プロジェクトの運用で忙しい中、欠かさずにアウトリーチのギフトを届けてくださったはやぶさ2プロジェクトの先生方に、心よりお礼申し上げます。いただいたギフトを活用して、私たちのアイデアを「スゴはや2」として形にすることができました。



参考文献・URL

- [1] 宇宙航空研究開発機構. “はやぶさ2プロジェクト”. <https://www.hayabusa2.jaxa.jp/> (2021年3月10日 参照)
- [2] “スゴはや2プロジェクト” produced by 東京工業大学附属科学技術高等学校科学部
https://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci_club/sugo-haya2.html
- [3] 宇宙航空研究開発機構. “「はやぶさ2」の地球スイングバイについての情報を公開します!”. はやぶさ2プロジェクト. <https://www.hayabusa2.jaxa.jp/topics/20151014/> (2021年3月10日 参照)