

はやぶさ 2 プロジェクトの事前評価
質問に対する回答（その 2）

平成 22 年 8 月 5 日

宇宙航空研究開発機構

【本資料の位置付け】

本資料は、平成22年7月26日（月）に開催された第2回推進部会におけるはやぶさ2プロジェクトの説明に対する構成員からの質問に対し、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）の回答をまとめたものである。

● 評価項目 3（プロジェクトの開発方針）に関連する質問

3-1	化学推進系の漏れ対策	3 ページ
-----	------------	-------

● 評価項目 4（その他）に関連する質問

4-1	サンプル回収装置	4 ページ
4-2	衝突装置の実験結果について	5 ページ
4-3	インパクタの発射高度について	8 ページ
4-4	プロジェクトの社会的意義	9 ページ

評価項目3（プロジェクトの開発方針）に関連する質問

【質問番号3-1】 化学推進系の漏れ対策

【質問内容】

漏れ対策として配管ルートを変えるというのはどのような効果があるのか釈然としません。もう少し具体的な説明をして下さい。推進系の故障モードとして時々発生しているのは推進薬の氷結による配管或いはバルブの破損、スラスタ作動パルス幅が原因の燃焼異常等があり、またスラスタの特性によっては定期的に作動させることによって故障発生防止を図る場合もありますが、はやぶさで発生したリーク原因は絞り込めているのでしょうか？

【資料の該当箇所】 推進1-1-3 22ページ、推進2-2 8ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

漏れた場所については、特定できており推棄弁です。また、不具合の原因が生じたのは、「はやぶさ」が姿勢を傾いた状態で接地、あるいは接地時に姿勢を傾けた時点（以下「不測の着陸」という）と推定しております。（不具合事象の発生は2回目のタッチダウン後）漏れた故障モードは、2つ考えられており、

- 1) 不測の着陸時におけるバルブの気密性障害
 - 2) 不測の着陸時におけるバルブ駆動系の計装への損傷
- のどちらかと推定しています。

1)については、不測の着陸により小惑星表面物質ないし浮遊ダストを噛み込んだことが原因と考えており、まず不測の着陸を起こさないことを第一の対策として検討しています。さらに、万一何らかの原因で漏洩が発生した場合を想定した対策として、配管ルートの変更を考えました。主系と従系の配管を分離することにより、漏洩による配管の凍結で、もう一方の系の配管が凍結してしまうことを防ぎます。（配管温度制御も主系と従系で独立に出来ます。）

原因がひとつに絞り込めていないため、要因として消しきれないもの、あるいは改善しておくべき事項に対しても対策を実施しておく必要があるとの判断で、今回、配管の分離を資料に記述しております。記述したハードウェア的な対策事項が、直接的原因対策ではなく改善処置部分であったため、誤解を招く表現になり申し訳ありませんでした。

なお、2)については、1)と同様に、運用上、不測の着陸を防止することを第一の対策としています。これに加えて、万一何らかの原因で不測の着陸が発生した場合に計装が損傷することに備えて、計装の主系・従系の同時故障が起きないように、ルーティングを別にしております。1)、2)の推定原因が特定できないため、両方の対策を採用する計画です。

● 評価項目 4（その他）に関連する質問

【質問番号 4-1】 サンプル回収装置

【質問内容】

予想される小惑星の状態(砂の状態か或いは岩の状態か、また岩の場合は硬度等)に対して、回収装置が確実にサンプルを回収できることはどのようにベリファイされているのか説明して下さい。

【資料の該当箇所】 推進 2-2 13、16 ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

「はやぶさ」では、弾丸撃ち込み法が採用されました。開発当初にトレードオフを行った結果、小惑星表面状態が未知であっても最も有効にサンプリングできる手法として選定されました。1999-2003 年には、弾丸撃ち込み法による岩盤～砂礫からのサンプリングについて様々な検討・実験が行いました。図 1 は、岩盤～砂礫への弾丸撃ち込み実験を 1G 下および微小重力下で行った結果（試料の回収質量とクレータから放出した破片質量の関係）をまとめたものです。一定速度・質量の弾丸を撃ち込んだ場合、様々な表面を持つ試料からどの程度の破片が放出し、それをどの程度効率よく回収できたかを示しています。この実験は、最終的には、「はやぶさ」のフライト品と同等の回収装置を用い、確認試験を行いました。「はやぶさ 2」の対象天体表面も未知であるため、この弾丸打ち込み法によるサンプリングを行うことが最適であると考えています。なお、「はやぶさ 2」では弾丸形状の見直しなどを行い、さらなる回収量向上を図ります。

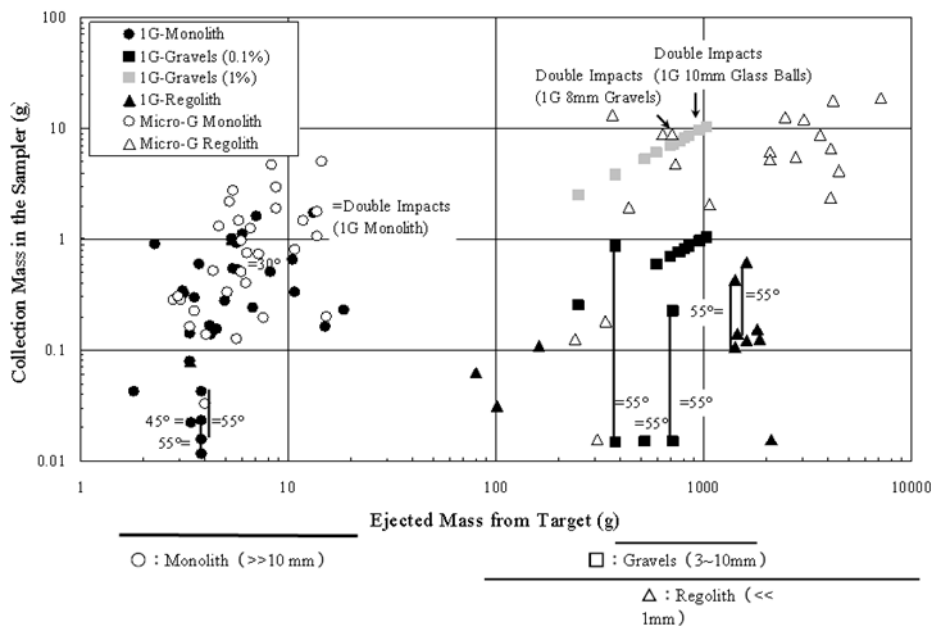


図 1 「はやぶさ」回収装置の様々な条件下における試料回収量
横軸はクレータからの放出量、縦軸は回収できた量を示している。微小重力下において約 100mg 以上の回収が達成できている (Monolith=一枚岩、Gravels=砂礫、Regolith=砂)。

【質問番号 4-2】 衝突装置の実験結果について

【質問内容】

衝突装置の実験結果を示すこと。

【資料の該当箇所】 推進 2-2 27、28 ページ

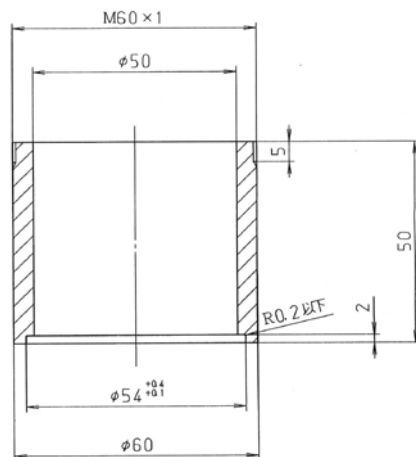
【回答者】 JAXA

【回答内容】

次ページ以降に実験結果を示します。

衝突装置の地上試験例(1/2)

【試験に使用した衝突装置】



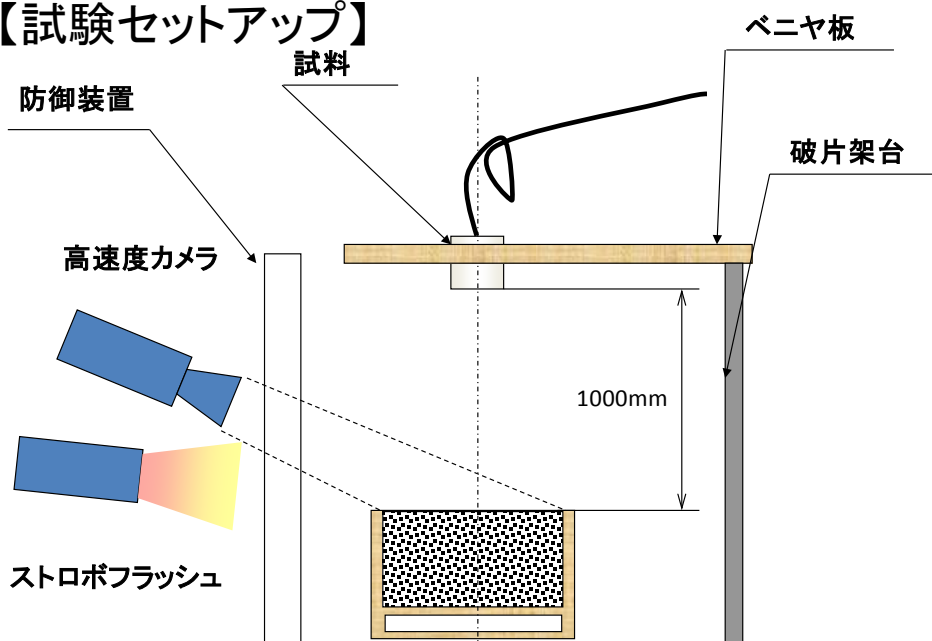
【使用した爆薬】

PBXNS109-RDX: 84%、HTPB:16%

- ・ 密度: 約1.53g/cc
- ・ 爆速: 約7400m/s
- ・ 爆轟圧力: 211kbar
- ・ 使用量: 138.9g

反応ガス(S:個体)		
H2O	(mole %)	36.3543
CO2	(mole %)	2.493
CO	(mole %)	0.5427
N2	(mole %)	20.6998
H2	(mole %)	0.3261
NH3	(mole %)	0.2315
OH	(mole %)	0.0124
NO	(mole %)	0.0116
HCN	(mole %)	0.0586
C(S)	(mole %)	39.2612

【試験セットアップ】



実機で用いる爆薬種については、宇宙空間での長期保管性を確認して決定されるが、基本的に同種である

衝突装置の地上試験例(2/2)



＜衝突装置＞

ライナ(銅)

ライナ質量:

36g (試験前)

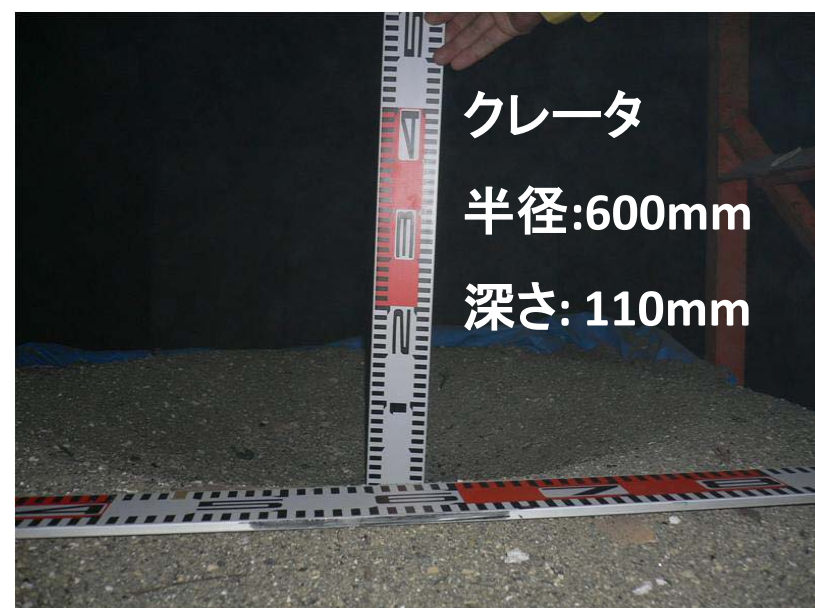
28.1g(試験後)

ライナ直径:

50mm(試験前)

約20mm(試験後)

ライナ速度: 2100m/s



クレータ

半径:600mm

深さ: 110mm

【質問番号 4-3】 インパクタの発射高度について

【質問内容】

インパクタの発射高度をどのように想定していますか。飛翔距離が大きくなるほど衝突目標地点からの誤差が大きくなると思います。また、飛翔距離が大きくなるほど、銅製インパクタの変形が進み、ついにはバラバラに分離して飛翔することが予想されます。

【資料の該当箇所】 推進 1-1-3 15 ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

インパクタの発射高度としては、分離の精度にも依存しますが、現在は500m程度を考えております。ご指摘の通り、発射高度が大きいと場合衝突目標地点からの誤差が大きくなりますが、分離時の姿勢を管理することで、衝突地点誤差を抑えるようにします。

衝突体を 2km/s 程度で飛翔させる場合、ライナの加速は爆発地点から 1m 以内でほぼ完了し、分裂するようなライナ形状の場合、数十 m 以内に分裂するというシミュレーション結果が得られています。爆薬による衝撃波をうけて衝突体が加速される際に、部位によりライナの変形方向・速度が違っていると、ライナは最終的に引き離され破壊してバラバラになることとなりますので、基本設計フェーズ中に試験やシミュレーションを行い、変形が許容範囲内になるようライナの展性・強度等の物性、厚み等の初期形状を適切に設計することで、分裂を防ぐ計画です。

【質問番号4-4】 プロジェクトの社会的意義

【質問内容】

現在、「はやぶさ」の成果は、子供から成人に至るまで強い関心事項であり、日本の宇宙技術に関して大きな期待が寄せられているところである。このような状況において、国家予算としてのプロジェクトを行なう際には、子供から今まで宇宙に関心の無かった方々に至るまでを対象として、「はやぶさ」の成果や今後の「はやぶさ2」の進捗状況やその期待される成果の説明を行なうことは重要であろうと考えている。特に、科学離れが進んでいる現在の子供達には、夢や希望を与え、科学への関心をより強くすることにも貢献でき、後者には、日本の宇宙開発の優位性を理解していただくことにより、日本の宇宙開発の取り組みに対する支援を得る良い機会でもある。このような役割は、JAXAのどのような担当者がどのように行なうのか、具体的な構想や計画を示していただきたい。その際、単に広報活動やイベントの開催というレベルではなく、科学教育を実施するための具体案を期待する。

【資料の該当箇所】 推進1-1-3 9ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

JAXAでは、平成17年5月に宇宙教育センターを設立し、学校教育現場及び科学館をはじめとした社会教育現場両面において、宇宙を素材とした科学への興味関心の涵養をはじめとした健やかな青少年を育むための教育現場支援活動を全国展開しており、これまでの活動の中で「はやぶさ」については、青少年に好奇心や冒険心、ものづくりの心をかき立てる代表的テーマとして、教材や教育プログラムの開発と現場への提供を行っています。

「はやぶさ」では、プロジェクトチームでWebでの情報発信を行い、宇宙科学研究所（本部）や月・惑星探査プログラムグループの広報およびJAXA宇宙教育センターで、教育的ビデオ、Webコンテンツ、冊子、イトカワ模型などを製作するなど、アウトリーチの活動を積極的に行ってきました。特に、Webでの情報発信においては、定性的な事項だけでなく定量的なデータもかなり掲載しています。また、大学生・大学院生向けには、「はやぶさ」のデータの解析の仕方を教える会合も開催しました。

ただし、これらの科学教育活動を最初から計画的に行ったわけではなく、また、当時はミッションとしてそのような活動のための経費も計上していませんでした。

「はやぶさ2」では、「はやぶさ」の反省を踏まえて、当初予算からアウトリーチの経費を盛り込んであります。科学教育を具体的にどのように進めるかは今後の議論ですが、JAXAの宇宙教育センターと連携し、いろいろな学年にあうような教材の作成や実際の科学教育を行っていきたいと考えています。まだブレインストーミングのレベルではありますが、次のような教材を作成することが考えています。

- ・小惑星というものから、太陽系天体を理解する教材
- ・小惑星というものから、惑星や生命の起源を理解する教材
- ・探査機というものから、さまざまな宇宙技術を理解する教材
- ・はやぶさ2から、より未来の宇宙技術を展望する教材
- ・スペースガードや宇宙資源など、その他の話題につながる教材等々

これらの教材を学校の現場で使ってもらったり、JAXAスタッフが説明をするときに使ったりして、宇宙に関する科学や技術に親しんでもらいたいと考えています。