

Mars exploration and technology development planning – from satellite samples return to landing missions –

(火星探査と技術開発構想－衛星サンプルリターンから着陸探査へ－)

Kazuhisa Fujita¹

¹Research and Development Directorate, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

7-44-1 Jindaijihigashi-machi, Chofu, Tokyo 182-8522 Japan

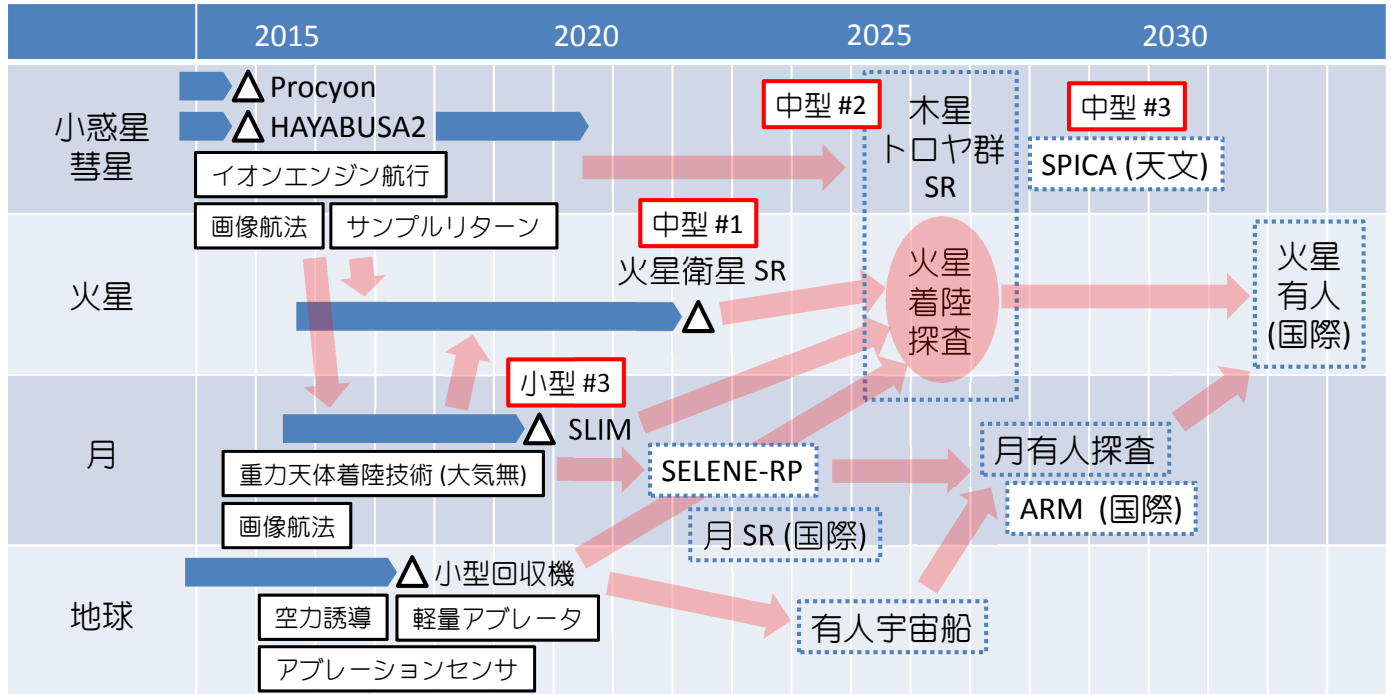
ABSTRACT

Discussions on Japan's Mars exploration strategy together with explorations to gravity bodies in the solar system are currently animated, and the Phobos/Demos sample return (PDSR) mission is about to be chosen as one of the most promising candidates for Japan's next Mars mission. Following the SLIM mission, in which technologies for soft-landing on gravity bodies are demonstrated in 2019, and following the PDSR mission to be launched in 2022 as well, Mars landing missions to be conducted in the middle of 2020s may be a reasonable scenario of Japan's Mars exploration strategy before joining the international manned Martian missions planned in 2030s. Key technologies needed for such an exploration program are analyzed, and the current technology readiness levels are overviewed. To support such an exploration program, Research and Development Directorate (RDD) are currently entertaining a deep-space exploration technologies development plan so that it can make full compensation for technologies development activities conducted at the Institute of Space and Astronautical Science (ISAS). The current status of research and development is briefly presented as well.

火星探査を取り巻く状況と想定されるロードマップ 1

■ 根拠となる資料

- 宇宙研内での議論 (宇宙研所長, 工学委員会幹事, 探査ハブ長など)
- 宇宙科学・探査小委員会 (2015/6/8 付)
- 文科省検討会・提言 (2015/6/25 付) : 今後の探査を (1)月・火星無人探査, (2)有人月探査, (3) 有人火星探査の段階に分けて, 国際協力も利用しながら進めることを推奨している

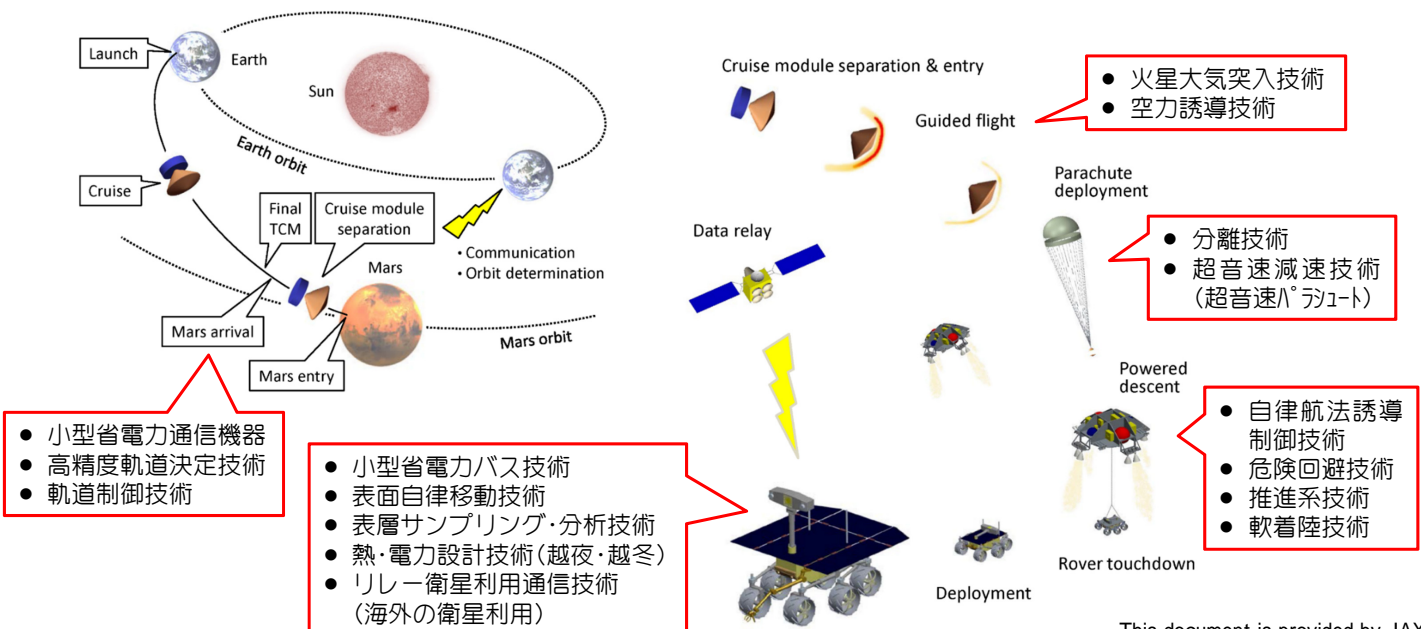


必要技術分析 (1/2) 2

■ 想定するモデルミッション・スコープ

- 大気を有する重力天体の探査目標地点近傍 (半径 5 km 以内) へ着陸し, ローバによって目標点へ到達し, 表面探査を行う技術を獲得 (実証) する
- 探査目標点として, 現在の知見で火星表面付近において最も生命の検出確率が高い地域を選定し, 生命検出実験によって生命の存否を明らかにする

■ 想定するモデルミッション・シナリオ



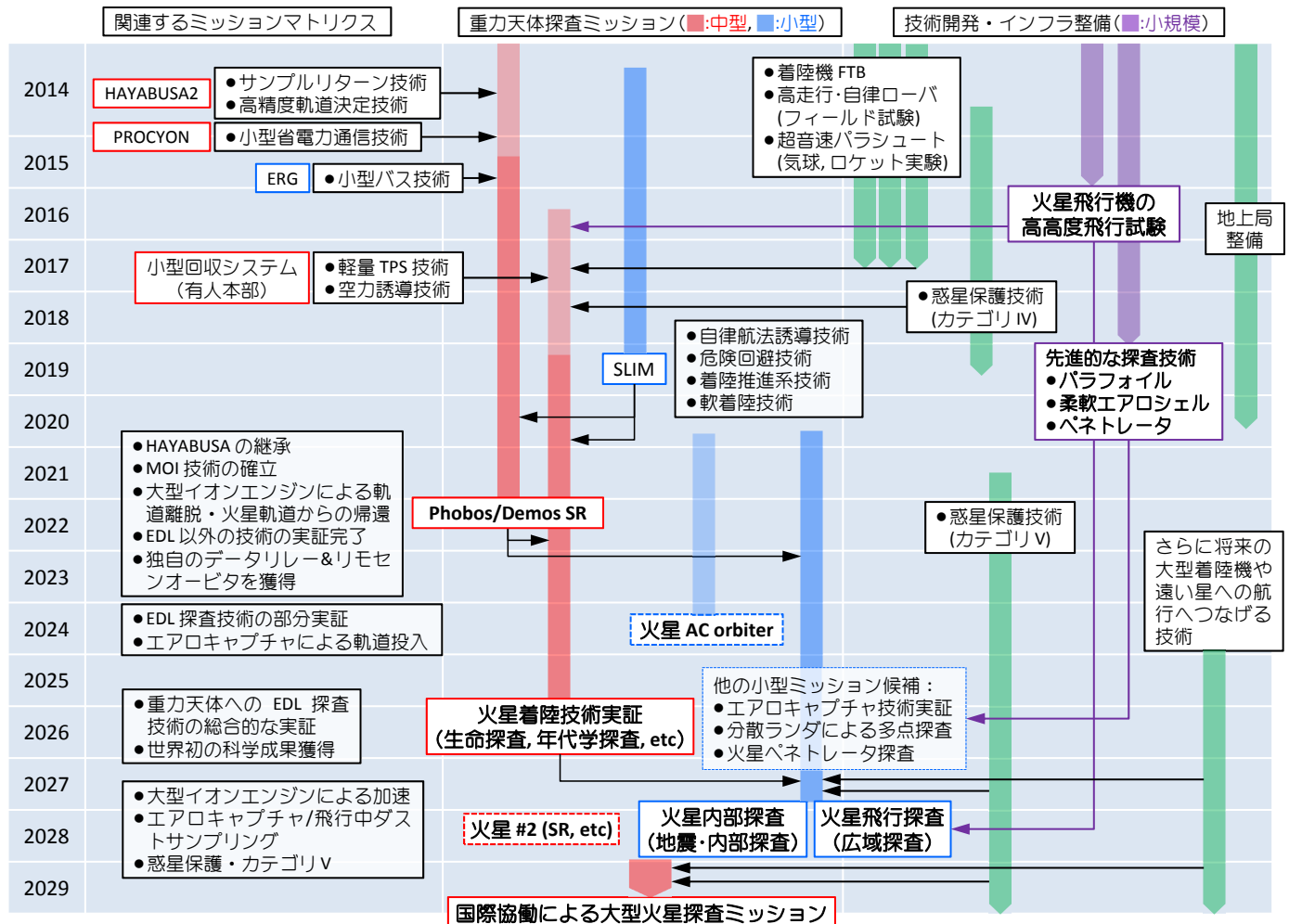
必要技術分析 (2/2)

■ 火星着陸探査に必要な技術の準備状況

現在日本が有しない必要技術のいくつかは、進行中のプロジェクトによって実証される。一方、**超音速パラシュート**、**ロボット**（ローバなど）、**熱設計**、**重力天体を想定した構造機構**、**惑星保護**については、研開部門においても一定の技術開発実績がある

■ RDD 主導 / ■ ISAS 主導

技術項目	TRL	分類	実証ミッションなど	本拠
深宇宙小型省電力通信機器	6	共通	Procyon	ISAS・RDD
深宇宙高精度軌道決定／軌道制御	6	共通	IKAROS, HAYABUSA2, AKATSUKI	ISAS・RDD
小型省電力探査バス	7	共通	SPRINT-A, ERG, SLIM	ISAS・RDD
大気突入技術(軽量アブレータ)	5	火星, SR	小型回収システム(部分実証)	RDD・HSTD
空力誘導技術	4	火星	小型回収システム(部分実証)	RDD・HSTD
分離技術	6	共通	地上試験	RDD
超音速パラシュート	4	火星	気球, 観測ロケット実験(部分実証)	RDD・ISAS
自律航法誘導制御／危険回避技術	4	共通	HAYABUSA2, SLIM	ISAS・RDD
推進系技術	6	共通	SLIM, SELENE-2	ISAS・RDD
軟着陸技術	4	共通	SLIM, SELENE-2	ISAS・RDD
表面自律移動技術(ローバほか)	5	個別	フィールド試験(部分実証)	ISAS・RDD
探査ロボット技術	4	共通	フィールド試験(部分実証)	ISAS・RDD
表層サンプリング・分析技術	4	個別	フィールド試験(部分実証)	ISAS・RDD
熱・電力制御技術(越夜・越冬技術)	4	個別	地上試験(部分実証)	RDD・ISAS
重力天体を想定した構造機構系	4	共通	地上試験(部分実証)	RDD・ISAS
惑星保護技術(滅菌設備・検査設備)	4	火星	地上試験(部分実証)	RDD
地上アンテナ局の整備	7	共通	HAYABUSA2, Destiny ほか	ISAS



研開部門として探査にどう貢献するか

■ 研開部門の役割とは

探査ミッション・プログラムの実行を支えるとともに、独自の探査ミッションを創出するための先導する技術を提案する

■ 探査プログラム・技術ロードマップの策定

探査技術開発の方針は探査ロードマップに従って決定される一方で、創造的な探査技術は探査プログラムの向上に寄与する。従って、探査技術を開発する現場の声を、探査プログラムや技術ロードマップ検討の場に届ける

■ 独自の探査ミッションの創出・実行

創造的な探査技術は独自の探査ミッションの創出・実行に寄与する。そのような技術を収集するのは探査ミッション検討チームの責務であるが、研開部門として組織的な広報活動を行い、その技術を適切に JAXA ミッションや社会へ還元する

■ 独自の探査ミッションを支援・創出する探査技術の研究

研開部門が担当する探査技術開発として、以下の課題を検討している

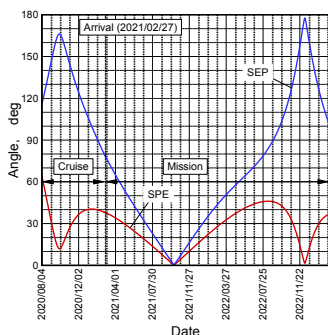
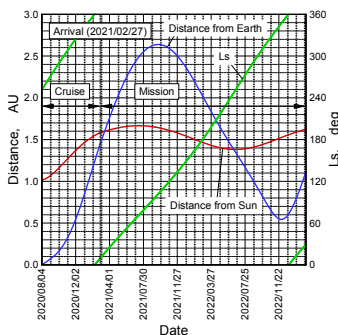
- 光衛星通信技術の研究
- 定点軟着陸技術の研究 (大気突入技術, 着陸 FTB を用いた軟着陸技術実証, etc.)
- ランデブー技術の研究
- 独自の探査ロボットの研究 (広域探査ロボット, テレイグジスタンス技術, 熱設計, etc.)
- 惑星保護技術の研究
- 有人探査における生命維持技術の研究

技術開発の紹介 (1)

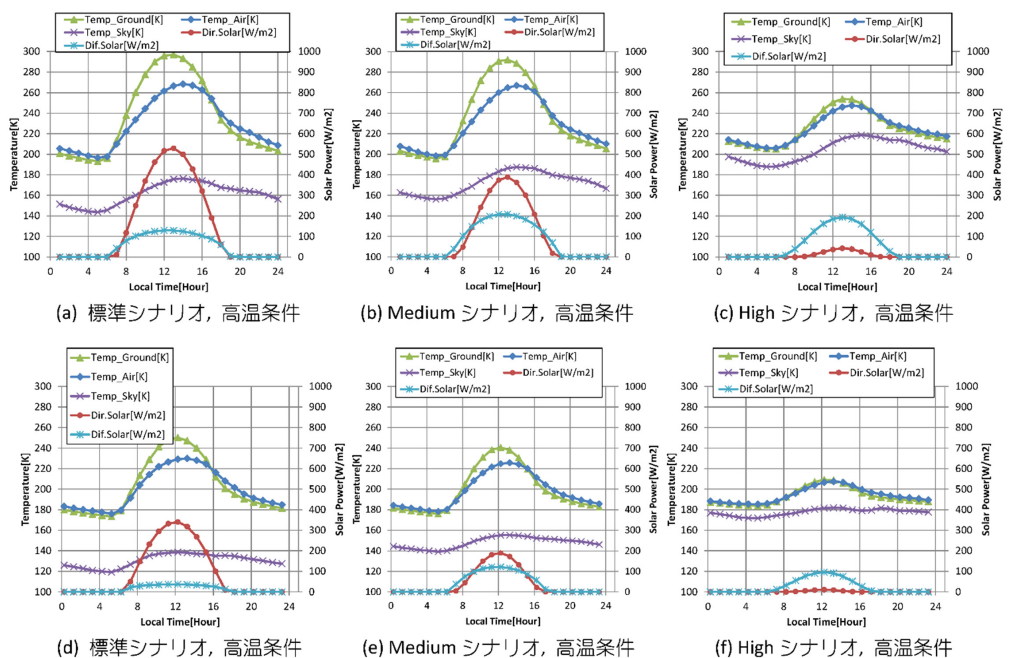
■ 火星地表環境の予測(宇宙研, 岡山大, 神戸大, 北大, 理研)

- 軌道ベースラインにもとづいた季節・日照予測
- 惑星大気循環モデル DCPAM を用いた火星環境データベースの開発

季節・日照予測



火星環境データベース (Juventae Chasma の環境予測・例)

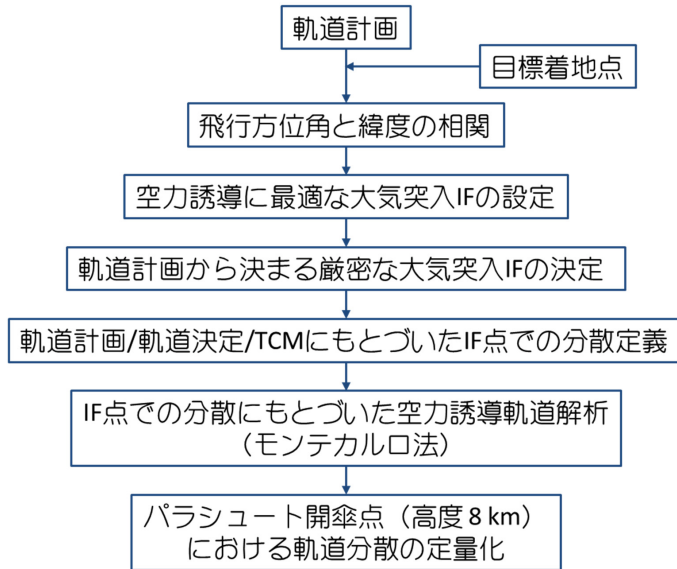


技術開発の紹介 (2)

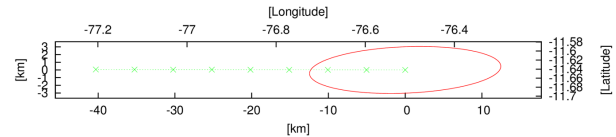
■ 空力誘導技術の開発(研開部門, 宇宙研, 有人部門)

- JPL の DSN との連携による高精度軌道決定・TCM (HAYABUSA, HAYABUSA2, Insight) にもとづいて, 大気突入 IF における軌道分散を予測
- 小型回収システムで実証予定の空力誘導アルゴリズムを使用した分散評価
- 着地点分散が 20 km x 14 km 分散楕円内であることを確認

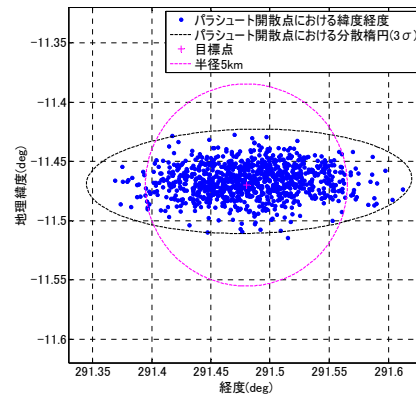
分散評価アルゴリズム



大気突入 IF における分散



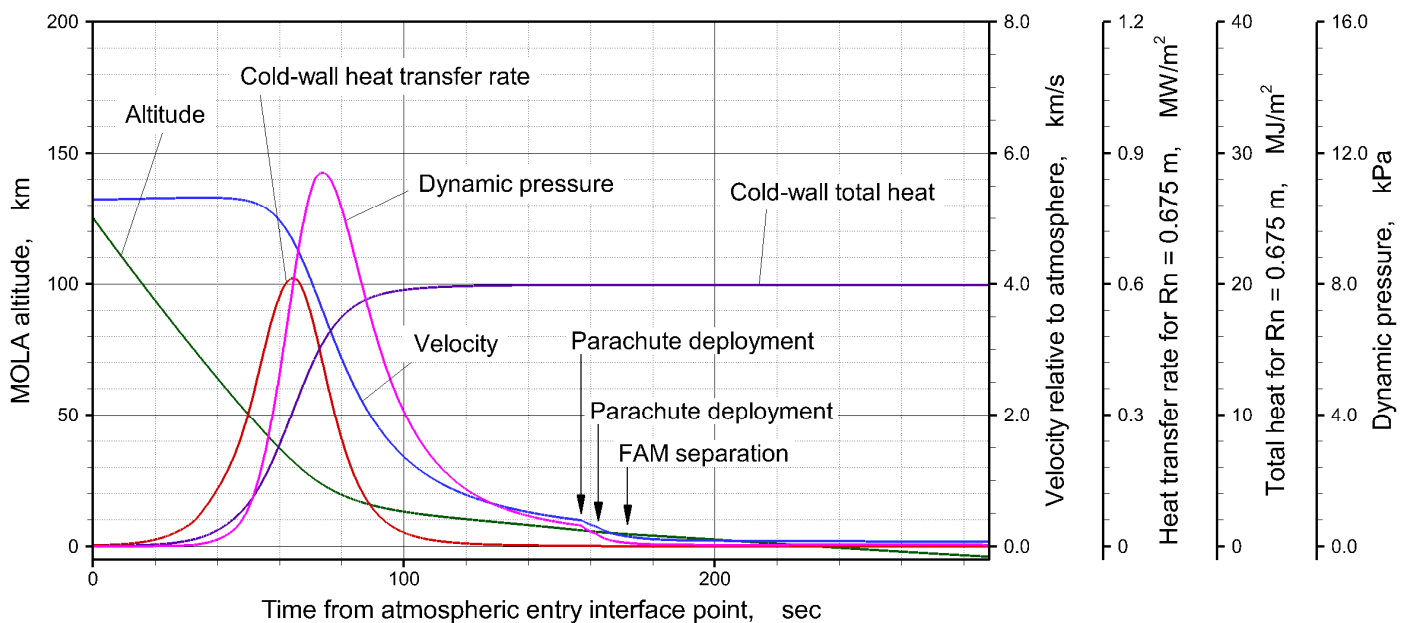
パラシュート開傘時における分散



技術開発の紹介 (3)

■ 火星 EDL ミッションの大気突入軌道ベースラインの設定(研開部門)

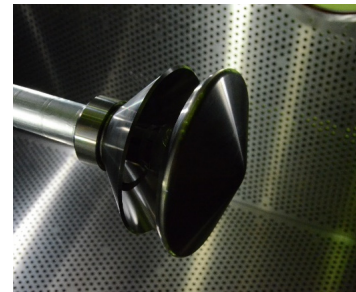
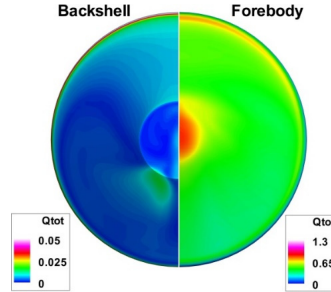
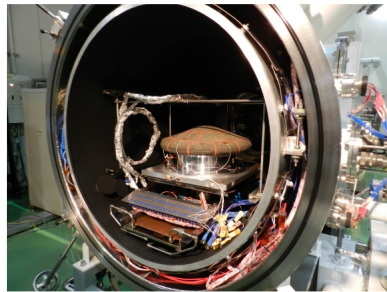
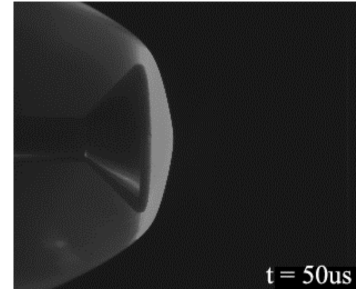
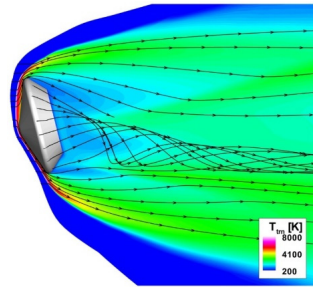
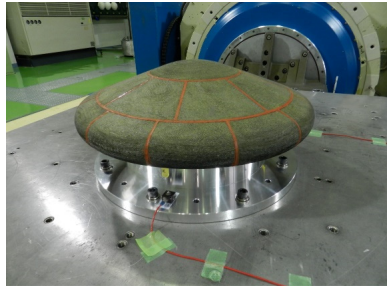
- 2020/08/4 打上, 2021/02/27 火星着, Melas Chasma (68.52°W, 11.47°S, H = -4.8 km) を着陸点として想定
- このとき $V_{inf} = 2.489$ km/s, $L_s = 9.6$ である
- AEM の弾道係数は 91.46 kg/m², $L/D = 0.2$ でバンク 62° (実効 $L/D = 0.09389$)



技術開発の紹介 (4)

■ 火星大気突入技術の開発(研開部門, 航空部門)

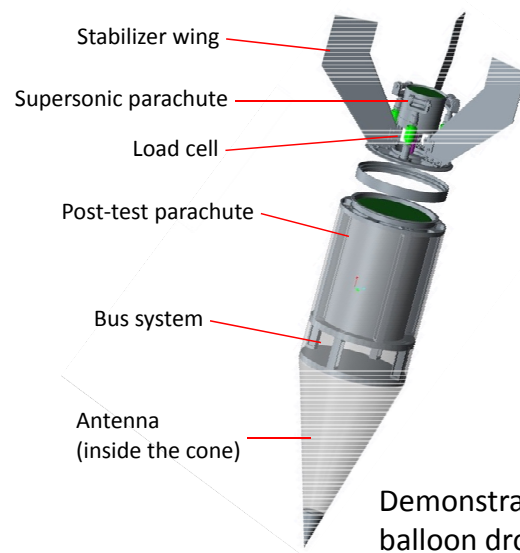
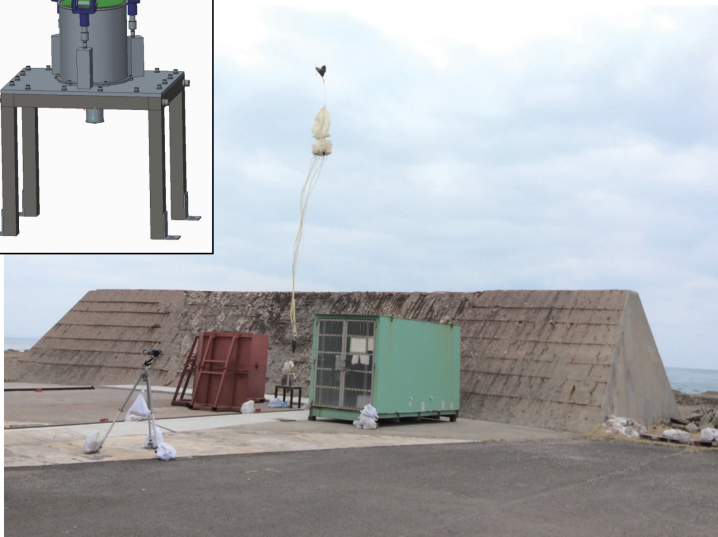
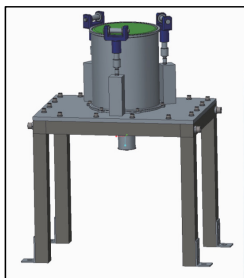
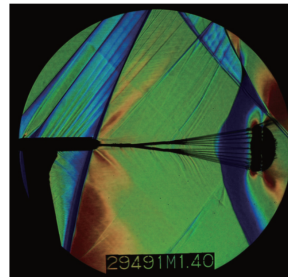
- 火星大気突入環境の熱空力設計ツール, 試験環境(ICP 風洞, 膨張波管)を整備
- 超軽量エアロシェル BBM の開発と QT 試験を完了
- 風洞試験と CFD による基本空力 DB 開発(含・フォアボディシエル分離特性)
- 上記による PFM 基本設計
- 小型回収システムで超軽量エアロシェルの部分実証(2016年予定)



技術開発の紹介 (5)

■ 超音速パラシュート(研開部門⇒ISAS)

- 風洞試験による基礎データ取得と実験室モデルの性能検証完了
- パラシュート BBM 放出実験(2015年5月完了)
- ヘリ落下試験(2015年度内)
- 気球実験(2016年5月以降)
- 観測ロケット実験(2017年計画)



Demonstrator for balloon drop tests
This document is provided by JAXA.

技術開発の紹介 (6)

■ 惑星保護技術の開発(研開・未踏 C / ISAS)

- 火星 WG 活動の一環として、研開・調布地区にカテゴリ 4c を狙ったパイロットプラントを開発し、滅菌・バイオバーデン検定技術の習得や、技術者養成の活動を行っている
- ISAS CR への本プラント設備計画・コスト見積りは検討済み
- 規定・基準書の作成
- パイロットプラントの開発、滅菌・バイオバーデン検定技術の習得・技術者養成



年度	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
規定遵守・管理技術	管理文書作成						
			管理規定運用・修正				
			技術者の指導・養成				
			汚染確率・衝突確率等の解析				
環境維持	施設計画立案		計画管理・監査・修正				
			CR設営・改修	射場CR設営・改修			
			施設の運用				
滅菌技術	滅菌処理技術開発		滅菌処理装置導入		滅菌処理・運用		
		メーカー指導			メーカー指導・監督		
検査技術	BB検査技術開発		BB実験室設営		実験室運用・整備		
				有機物サンプル管理・保管			
概算(円)	200万	200万	4.3億	3200万	3200万	3200万	3200万

火星EDL技術実証探査 製造・総合試験 打上

技術開発の紹介 (7)

■ SLIM, SELENE-RP の開発支援

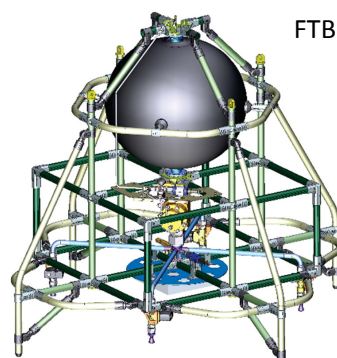
- SLIM, SELENE-RP 双方の着陸センサ (短距離測距 LIDAR, Flash LIDAR, NavCam, PanCam 等) の特性の検証とフィルタリング機能の調整、着陸アルゴリズム (障害物回避)、軟着陸技術 (脚機能など) の検証によって、信頼性を向上することができる
- SLIM は開発コスト削減のため FTB を用いず、ハードウェアインザループのシミュレータによって航法誘導系の検証を行う計画である (SELENE-RP は未定)。シミュレータ自身の精度を本 FTB によって検証することにより、信頼性を向上することができる

■ 火星着陸モジュールの地上技術実証

- SLIM 開発支援によって FTB の着陸技術、航法誘導技術も改善され、火星着陸モジュールの着陸最終フェーズの航法誘導・障害物回避マヌーバ・軟着陸技術が実証できる。同様に、シミュレータを FTB によって検証することにより、シミュレータによる実飛行環境での着陸モジュールのダイナミクス予測の信頼性が担保され、着陸モジュールの設計に供するツールを提供することが可能となる

■ FTB へ要求される仕様 (SLIM & SELENE-RP)

- 着陸 FTB : 高度 10 m 迄上昇後 5 m 迄下降し、10 秒以上のホバー後、軟着陸する。また、高度 150 m からの自由落下後、軟着陸する。航法・誘導機能、障害物回避機能を有する。重量約 100 kg.
- シミュレータ : ハードウェアインザループの汎用ソフトウェア。FTB 飛行試験結果を忠実に再現し、実飛行環境を模擬することが可能で、これにより実飛行環境の着陸モジュールの特性を検証できる。



FTB 詳細設計結果

※ FY26 の多年度契約により、現在、詳細設計および長納期部品の一部調達完了している

結論

- 火星着陸探査までを俯瞰した、技術開発の大きな流れについて検討を行った。ただし、本検討がすべての技術領域をカバーするものではないことは注意されたい
- 探査技術開発については ISAS に本拠があるのが当然望ましいが、リソースが限定的ななかでは、他部門のミッションを利用した技術実証や、他部門におけるリソース・開発計画を積極的に利用することが望ましいと考える。この点において、今後研開部門の果たせるポテンシャルは低いと考えている
- SLIM, PDSR への研開部門の技術協力の可能性は、まだ議論・調整が始まったばかりである。今後、人的リソースの協力も含めて、ミッション実行を着実に支えることができるように、働きかけを行いたい