

# 火星着陸技術実証ミッションの実現に向けた活動

2015/1/25

藤田和央

宇宙航空研究開発機構

火星着陸探査技術実証 WG

## 火星着陸技術実証 WG の活動概要

### ■ 火星表層探査ミッションの総合的な検討

- 2008 年～ 火星複合探査 (MELOS) WG において、周回機、着陸機、ローバ、飛行機等を網羅した総合探査として検討を開始
- 2012 年～ 周回機ミッションを分離し、表層探査に特化して検討を継続
- 2014 年～ 火星着陸探査技術実証を主目的とする工学委員会 WG として再編成。理工連携検討の下、集中スタディ (含・技術開発) を実施し
  - 現時点で実現可能性が高い複数の探査機プラットフォーム
  - 現時点で世界と戦える複数の科学観測ミッション提案を再精査し、外部委員を交えた客観的評価によって優先順位を設定し、選択と集中によって、現在の内外情勢に最も適合したミッションスコープ (ローバによる生命探査) へ先鋭化

### ■ FY26 戦略的中型ミッション AO への提案

- 上記の先鋭化された火星着陸探査技術実証ミッションを提案予定

### ■ 火星探査プログラムの提案

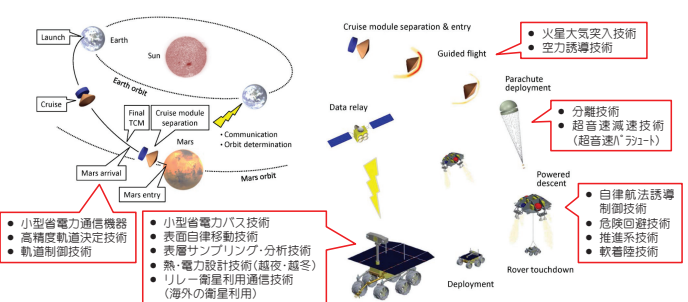
- 一連の検討の中で検討された複数の科学観測ミッション提案を、実行性の高い (人と作業の実態のある) 火星探査プログラムとして提案 (RFI への回答も視野)

## 火星着陸探査技術実証ミッション

### ■ ミッションスコープ

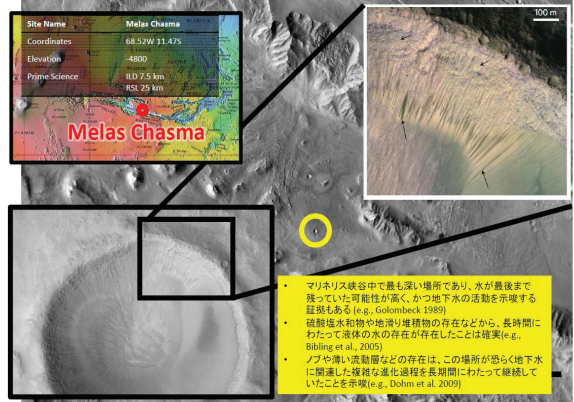
- 大気を有する重力天体の探査目標地点近傍 (半径 5 km 以内) へ着陸し、ローバによって目標地点へ到達し、表面探査を行う技術を獲得 (実証) する
- 探査目標地点として、現在の知見で火星表面付近において最も生命の検出確率が高い地域を選定し、生命検出実験によって生命の存否を明らかにする

### ■ ミッションシナリオ



## 生命探査の着地点候補

### 優先順位1位 (a1) : メラス・カズマ (マリネリス峡谷内のRSL)



## サクセスクライテリア

© ISAS/JAXA 2015

### ■ ミニマムサクセス

- 火星表面へのローバの着陸 (火星トランスファ, EDL 技術の実証)

### ■ フルサクセス

- 探査目標地点近傍 (半径 5 km 以内) への着陸, およびローバによる目標地点への到達 (ローバ技術の実証; 走破距離 > 10 km, ミッション期間 > 60 sol)

### ■ ミニマムサクセス

火星地表の 1 ヶ所において 10<sup>4</sup> cell/g の感度で生命検出実験を行う。実験場所における生命の有無の判定と、その場の地質学的な意味合いを明らかにする

### ■ フルサクセス

火星の地質学的活動度を調べながら有望な複数地点 (> 4) で探査を行う。生命の検出ができない場合、その理由を地質学的な意味合いと共に明らかにする。また、RSL の形成が液体の流出によるか否かを明らかにする

### ■ エクストラサクセス

- 1 火星年に渡るローバの生存, 最長不倒距離 (> 50 km) の走破
- RSL への到達とサンプル採取 (分離型小型ローバによる)
- 小型飛行システム (火星飛行機) による広域探査技術の実証

- 火生命を発見し、その濃度や様態と地質学的コンテキストを比較し、火星生命のあり方を理解する

## システム設計の考え方

### ■ 基本戦略

- 将来の自在な重力天体探査を担保する技術獲得が第一の目標
- 日本独自の技術を積極的に導入しつつも、リスクを取る部分とそうでない部分を明確に分離する。成果は将来の独自探査, 政策的探査ミッションへ寄与
- 国際協力を積極的に導入し、すべてを独自技術でカバーしないことにより、技術実証の先鋭化を図る。これは将来の国際協働火星探査の礎となる

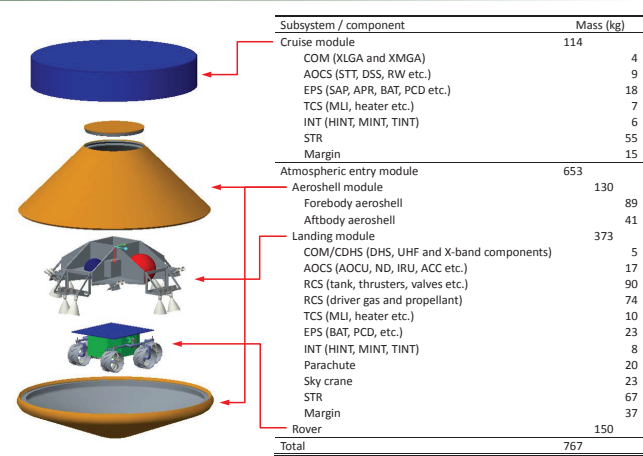
### ■ 主要な独自技術

- 小型・省電力バス
- 小型高密度バッテリー (SUS ラミネートリチウムイオン二次電池)
- 火星用高効率軽量太陽電池パネル (火星に特化した薄膜太陽電池セル)
- RHU, RTG に依らない熱設計・電力設計 (クリーンローバ)
- 高度な自律性を備えたローバ航法誘導システム
- オプション: 小型飛行機 (火星飛行機), 分離型小ローバ (ミネバ方式)

### ■ 主要な国際協力

- 高精度軌道決定におけるサービス利用
- 火星におけるミッションデータリレーサービス利用
- ローバ技術提携 (分離型ローバなど)
- ローバのリソース提供 (測器搭載など)

## システム概要



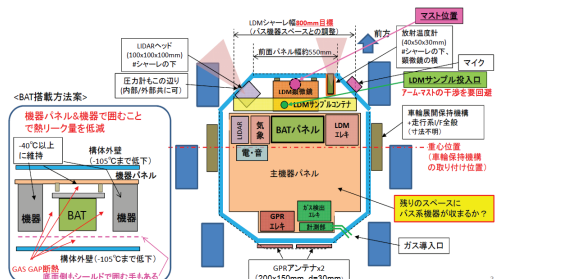
## 搭載機器候補

### ■ プライマリ測器

- 生命探査モジュール
- 地中レーダモジュール
- 地質カメラ
- 気象観測パッケージ

### ■ セカンダリ測器 (オプション)

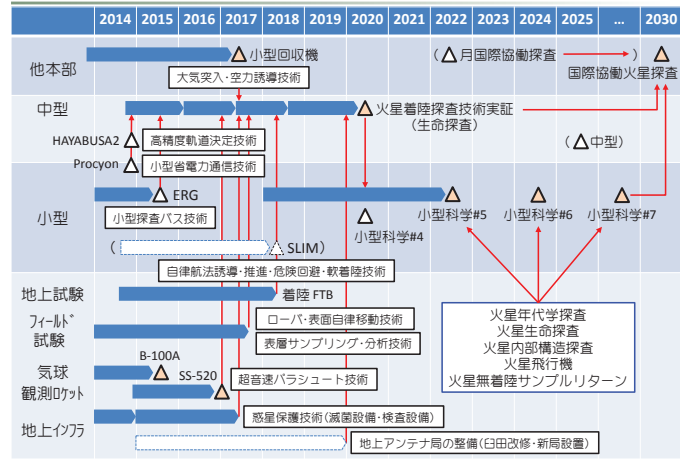
- ガス検出器
- 音波計測器
- 粒子センサー
- ダスト観測用短距離 LIDAR
- 国際連携機



## 技術要求に対する技術開発戦略

技術項目	TRL	火星特有	実証ミッション
深宇宙小型省電力通信機器 (SSPA)	6	×	Procyon
深宇宙高精度軌道決定/軌道制御	6	×	IKAROS, HAYABUSA2, Destiny
小型省電力探査バス	7	×	SPRINT-A, ERG, SLIM, Destiny
大気突入技術 (軽量アブレータ)	5	△	小型回収システム (部分実証)
空力誘導技術	4	△	小型回収システム (部分実証)
分離技術	6	×	地上試験
超音速パラシュート	4	○	気球, 観測ロケット実験 (部分実証)
自律航法誘導制御/危険回避技術	4	×	HAYABUSA2, SLIM, SELENE-2
推進系技術	6	△	SLIM, SELENE-2
軟着陸技術	4	△	SLIM, SELENE-2
表面自律移動技術 (ローバ)	5	○	フィールド試験 (部分実証)
表層サンプリング・分析技術	4	○	フィールド試験 (部分実証)
熱・電力設計技術 (越冬・越冬技術)	4	○	地上試験 (部分実証)
惑星保護技術 (滅菌設備・検査設備)	4	○	地上試験 (部分実証)
地上アンテナ局の整備	7	×	HAYABUSA2, Destiny (ほか)

## 火星着陸技術実証機・技術開発ロードマップ



## 技術開発の現状 (1)

### 火星軌道ベースラインの設定 (JSPEC / 宇宙研)

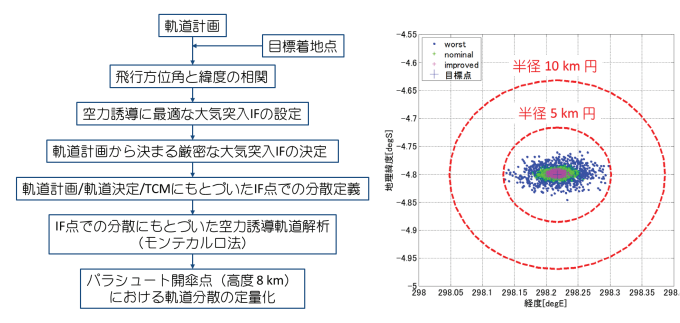
Window	2020			2022			2024		
	初日	ノミナル	最終日	初日	ノミナル	最終日	初日	ノミナル	最終日
出発日	2020/7/18	2020/7/25	2020/8/1	2022/9/1	2022/9/8	2022/9/15	2024/10/5	2024/10/12	2024/10/19
到着日	2021/1/27	2021/2/2	2021/2/10	2023/3/25	2023/4/1	2023/4/7	2025/5/10	2025/5/15	2025/5/28
飛行日数	193	192	193	205	205	204	217	215	221
到着時 Ls	354.1	357.2	1.1	41.5	44.8	47.3	81.1	83.4	89
出発 V <sub>∞</sub> (km/s)	3.62	3.668	3.847	4.371	4.304	4.379	4.352	4.224	4.293
出発 C3 (km <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	13.10	13.45	14.80	19.11	18.52	19.18	18.94	17.84	18.43
到着 V <sub>∞</sub> (km/s)	2.872	2.762	2.637	3.87	3.623	3.418	4.585	4.367	3.817
H-IIA202 惑星間投入能力 (t)	1.4	1.4	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
出発 α (deg)	18.56	13.77	9.44	65.419	58.18	51.968	110.589	100.435	89.469
出発 β (deg)	23.25	21.216	19.391	49.261	46.195	42.269	53.247	49.494	46.663
到着 α (deg)	342.054	341.874	340.215	47.044	48.411	49.161	94.457	96.113	96.138
到着 β (deg)	-0.125	0.012	0.053	-21.749	-20.723	-19.155	-32.087	-29.479	-28.297
種子島からの打上高さ	○	○	○	○	△	△	△	△	△
到着時太陽距離 (au)	1.54	1.55	1.56	1.64	1.65	1.65	1.66	1.66	1.66
到着時地球距離 (au)	1.14	1.2	1.28	1.38	1.45	1.51	1.5	1.54	1.66
到着時太陽-火星-地球角 (deg)	39.6	39.46	39.1	37.2	36.9	36.54	36.74	36.48	35.55
到着時太陽-地球-火星角 (deg)	92.64	89.73	85.98	85.69	82.20	79.32	80.25	77.88	72.02
着陸時通信	○	○	○	○	○	○	○	○	○

備考: 打上可能質量も大きく、種子島からも打ち上げやすい。太陽距離、地球距離は増大方向。打上可能質量はあまり大きくなり、種子島からは南東打ちとく、種子島からは南東打ちとなるため、やや打ち上げにくい。太陽距離、地球距離は増大方向。太陽距離、地球距離は増大方向。

## 技術開発の現状 (2)

### 空力誘導技術の開発 (研開本部・誘導 G, 未踏 C / JSPEC / 宇宙研)

- JPL の DSN との連携による高精度軌道決定・TCM (HAYABUSA, HAYABUSA2, Insight)
- 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
- 着地点分散がミッション要求 (半径 5 km 円内) を満足することを確認

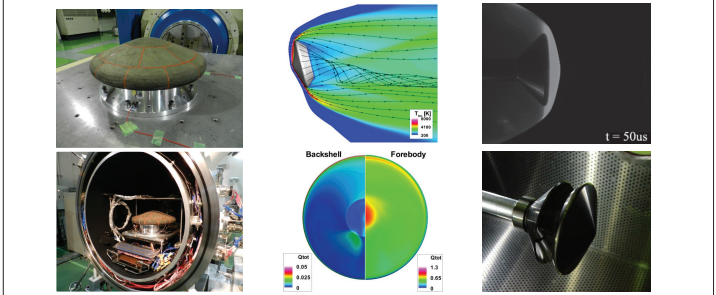


## 技術開発の現状 (3)

© ISAS/JAXA 2015

### 火星大気突入技術の開発 (研開・未踏 C / 航空・複合材 C, 風洞 C)

- 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)



## 技術開発の現状 (4)

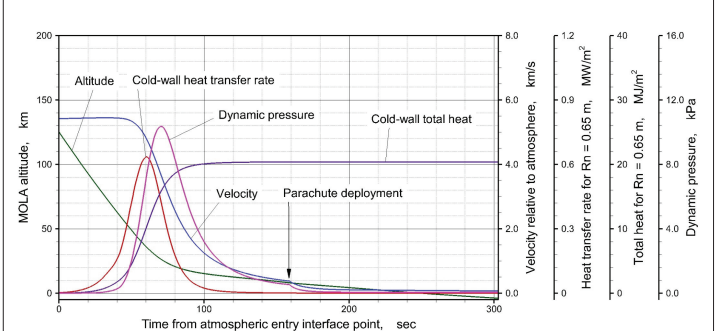
### 大気突入モジュールの空力設計 (研開・未踏 C / 航空・風洞 C)

Ballistic coefficient, kg/m <sup>2</sup>	82.3
Lift to drag ratio (L/D)	0.200
Net L/D (average bank angle = 62°)	0.09389
Entry flight path angle, deg	-17.0
Downrange, km	476
Downrange dissipation, km (assuming Δγ = 0.1°)	±6
Flight time to parachute deployment, sec	238
Parachute diameter, m	9.4
Parachute CDS, m <sup>2</sup>	41.7
Altitude for parachute deployment, km	8.0
Mach number for parachute deployment	1.79
Parachute terminal velocity, m/s	90

## 技術開発の現状 (5)

### 大気突入軌道ベースラインの設定 (研開・未踏 C)

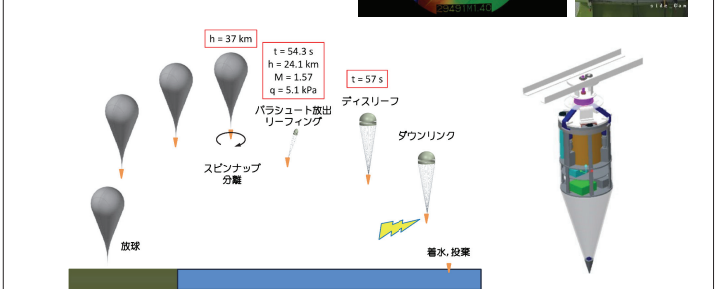
- 2020/7/25 打上, 2021/2/2 火星着. Juventae Chasma (298.217°E, 4.801°N, MOLA 高度 -4 km) を着地点として想定
- このとき V<sub>∞</sub> = 2.762 km/s, Ls = 357.2
- AEM の弾道係数は 82.3 kg/m<sup>2</sup>, L/D = 0.2 でバンク 62° (実効 L/D = 0.09389)



## 技術開発の現状 (6)

### 超音速パラシュートの開発 (ISAS / 研開・未踏 C)

- 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 2 月)
- 気球実験 (2015 年 8 月)
- 観測ロケット実験 (2017 年計画)

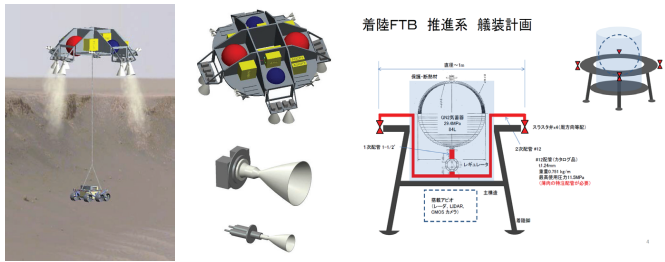


## 技術開発の現状(7)

17

### ■ 着陸技術の開発 (ISAS / 研開・未踏 C / 航空本部)

- SLIM, STEPS WG と連携, SELENE-2 の開発ヘリテージを利用 (航法センサ)
- あかつき 500 N OME をベースにした 650 N スラスタの開発 (推進 G)
- 着陸軌道, 機体重量の最適化設計
- 着陸機概念設計
- 着陸 FTB の開発 (2015 年 6 月より飛行試験)



## 技術開発の現状(8)

18

### ■ 火星ローバ技術の開発 (ISAS / 慶応大 / 研開・熱 G, 実証 C)

- 自律航法誘導技術の開発
- 伊豆大島におけるフィールド試験による技術熟成
- 火星環境を考慮した熱設計, 小型バス, 電源系の開発 (SUS ラミネート Li-ion バッテリ, 火星用高効率薄膜太陽電池)
- **世界で初めて RHU, RTG を使用しない火星ローバへの挑戦**



## 技術開発の現状(9)

19

### ■ 惑星保護技術の開発 (研開・未踏 C / ISAS)

- COSPAR カテゴリー 4c に準拠した開発・設備計画 (2014 年に工程表作成, 2016 年より実施計画)
- 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
提案・遵守・管理技術		管理文書作成			管理規定運用・修正		
環境維持			施設管理・衛生				
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		
検査技術			滅菌技術開発	実験室設計	実験室運用・整備		
概算(円)	200万	200万	4.3億	3200万	3200万	3200万	3200万

火星 EDL 技術実証探索 製造・総合試験 ▲ 打上

## 結論

20

- 火星探査の実現に向けた活動を紹介
- 前身の MELOS WG, および火星着陸探査技術実証 WG の活動の成果として, 戦略的中型ミッション AO へ提案する探査ミッション案と, 持続的な火星探査プログラム案を提案
- 戦略的中型ミッション AO へ提案する探査ミッション案は, 工学実証を主眼とするものの, 理工が密接に連携したミッションとなる. トップサイエンスを実現するサイエンスとして生命探査を選定し, 生命が検出されれば歴史的なインパクトを獲られる
- ミッションスコープを実現する探査機システムの概念設計を実施し, 中型ミッションとしての成立性を確認中
- 火星着陸探査に必要な技術要求とその現状を分析し, 技術開発計画を作成し, 推進中
- 実現に向けた課題は少なくないが, 他の独立した複数のミッションのマトリクスを最大限活用する開発マネジメントによって, 2020 年に火星着陸探査技術実証機を打ち上げることは十二分に可能