

第15回 宇宙科学シンポジウム
S4-011

火星着陸技術実証機のシステム設計と サイエンススコープ

2015/1/7

藤田和央, 佐藤毅彦
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

2

■ 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)

生命探査の考え方 (1/2)

3

■ 火星の生命生存の仮説／探査候補地点の考え方 (P-197)

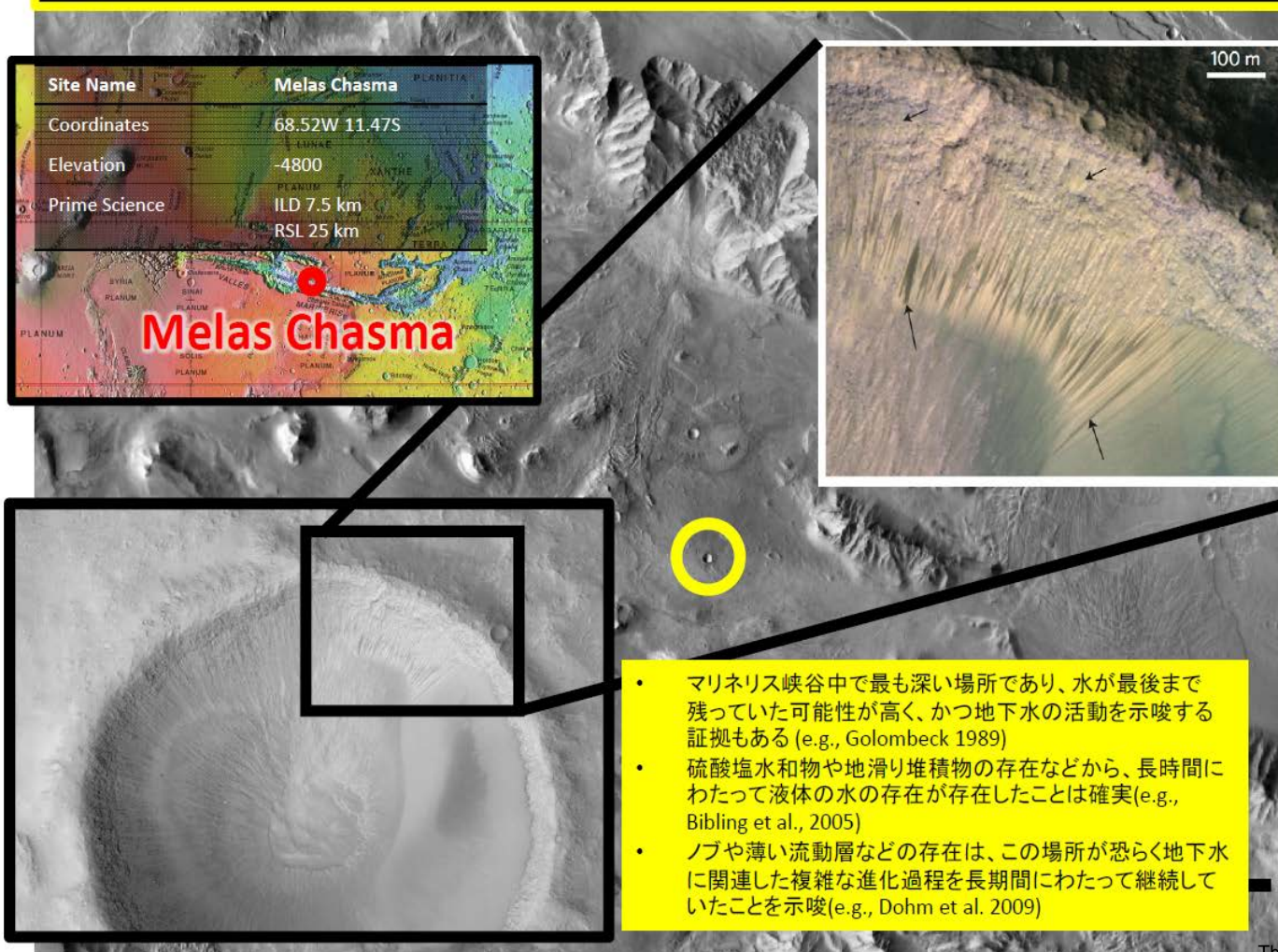
1. ～40億年前に火星には生命が発生できる環境が存在 (Baker et al., 2007)
(～35億年前くらいまでに火星に生命が誕生した)
2. 35億年くらい前までは地表でも繁殖, 地中にも生息(継続的な火山活動や帯水層の存在). その後は表層環境の劣悪化のため, 生息範囲は地中へ向かう (Clifford and Parker, 2001; Ehlmann et al., 2011; Grotzinger et al., 2014)
3. 火山活動はごく近年(少なくとも数百Maくらい)まで継続. 現在も小規模で継続の可能性が高い (Neukum et al., 2004; Hauber et al., 2011)
4. 内部からの熱流量により帯水層は液体のまま長期間保持 (Clifford et al., 2010; Lasue et al., 2013)
5. 現在も火山活動があり, 最近の流水活動が存在するのは, 帯水層が現在も存在することを示唆 (Clifford et al., 2010; Burr et al., 2002; Lasue et al., 2013). 赤道帯のマリネリス渓谷底部や, 南北40～70度くらいの地下数キロには継続的に帯水層が存在し, 現在の生命圏を形成 ⇒ そこで40億年前から現在まで, 生命活動が継続できる帯水層と呼べる環境が
 - ① 常に火星の地下のどこかに存在していた可能性が高く (Clifford et al., 2010)
 - ② 少なくとも断続的に火星の地下のどこかに存在していた (Lasue et al., 2013; Michalski et al., 2013)そのいずれのケースであっても, 地下帯水層内に生命活動が存続していた (Fisk and Giovannoni, 1999)
6. 現在まで断続的に続く火山活動(含・泥火山等の揮発成分の放出イベント) (Komatsu et al., 2011), 地殻活動, インパクトなど (Baratoux et al., 2011; Neukum et al., 2004)により, 帯水層の物質が地表に放出
7. 表面の大気・ダストの移動と共に, 火星表面で広範囲に移動し生息に適した地域で生存(生存期間は短いかもしれないが)
8. そのため, 最も生命探査に適した場所は,
 - ① 地下から生命が放出されている部分の周囲や,
 - ② 表面の状態が特殊な場所(濡れていた, 水蒸気があった等)であると考え

生命探査の考え方 (2/2)

4

■ 生命探査に最適な着地点候補の一例

優先順位1位(a1): メラス・カズマ (マリネリス峡谷内のRSL)



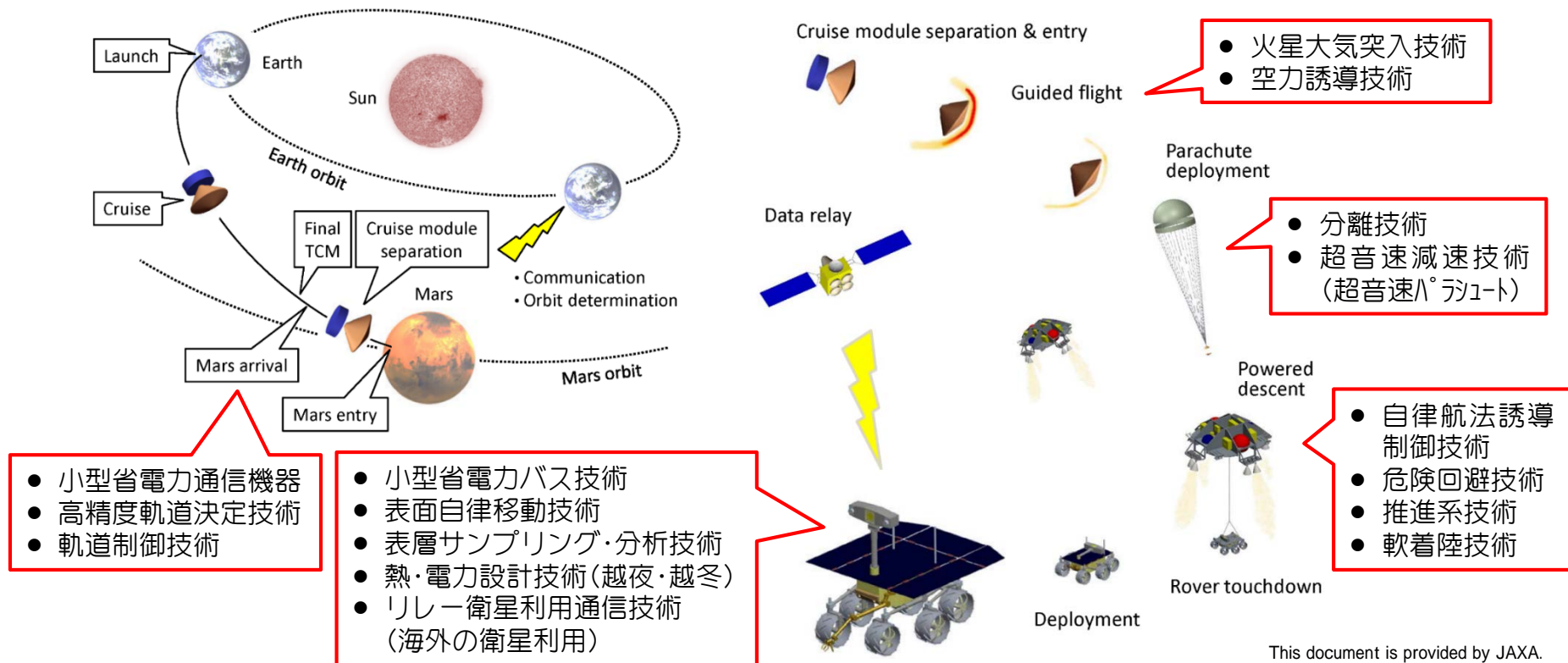
火星着陸探査技術実証ミッション

5

■ 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

■ ミッションシナリオ



サクセスクライテリア

■ 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 10^4 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)
- 小型飛翔システム(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

火星着陸探査の技術要求

7

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)			
深宇宙高精度軌道決定／軌道制御			
小型省電力探査バス			
大気突入技術(軽量アブレータ)			
空力誘導技術			
分離技術			
超音速パラシュート			
自律航法誘導制御／危険回避技術			
推進系技術			
軟着陸技術			
表面自律移動技術(ローバ)			
表層サンプリング・分析技術			
熱・電力設計技術(越夜・越冬技術)			
惑星保護技術(滅菌設備・検査設備)			
地上アンテナ局の整備			

システム設計の考え方

8

■ 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って、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

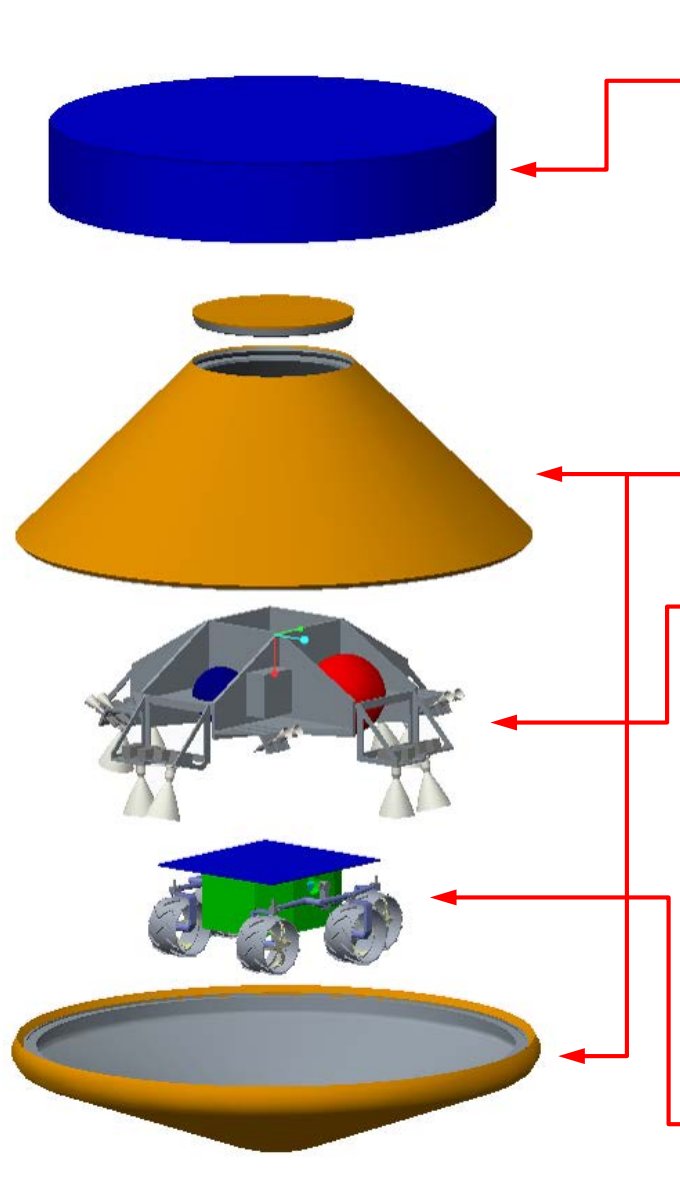
- 小型・省電力バス
- 小型高密度バッテリー(SUS ラミネートリチウムイオン二次電池)
- 火星用高効率軽量太陽電池パネル(火星に特化した薄膜太陽電池セル)
- RHU, RTG に依らない熱設計・電力設計(クリーンローバ)
- 高度な自律性を備えたローバ航法誘導システム
- オプション：小型飛翔体(火星飛行機), 分離型小ローバ(ミネルバ方式)

■ 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

9



Subsystem / component	Mass (kg)
Cruise module	114
COM (XLGA and XMGA)	4
AOCS (STT, DSS, RW etc.)	9
EPS (SAP, APR, BAT, PCD etc.)	18
TCS (MLI, heater etc.)	7
INT (HINT, MINT, TINT)	6
STR	55
Margin	15
Atmospheric entry module	653
Aeroshell module	130
Forebody aeroshell	89
Aftbody aeroshell	41
Landing module	373
COM/CDHS (DHS, UHF and X-band components)	5
AOCS (AOCU, ND, IRU, ACC etc.)	17
RCS (tank, thrusters, valves etc.)	90
RCS (driver gas and propellant)	74
TCS (MLI, heater etc.)	10
EPS (BAT, PCD, etc.)	23
INT (HINT, MINT, TINT)	8
Parachute	20
Sky crane	23
STR	67
Margin	37
Rover	150
Total	767

搭載機器候補

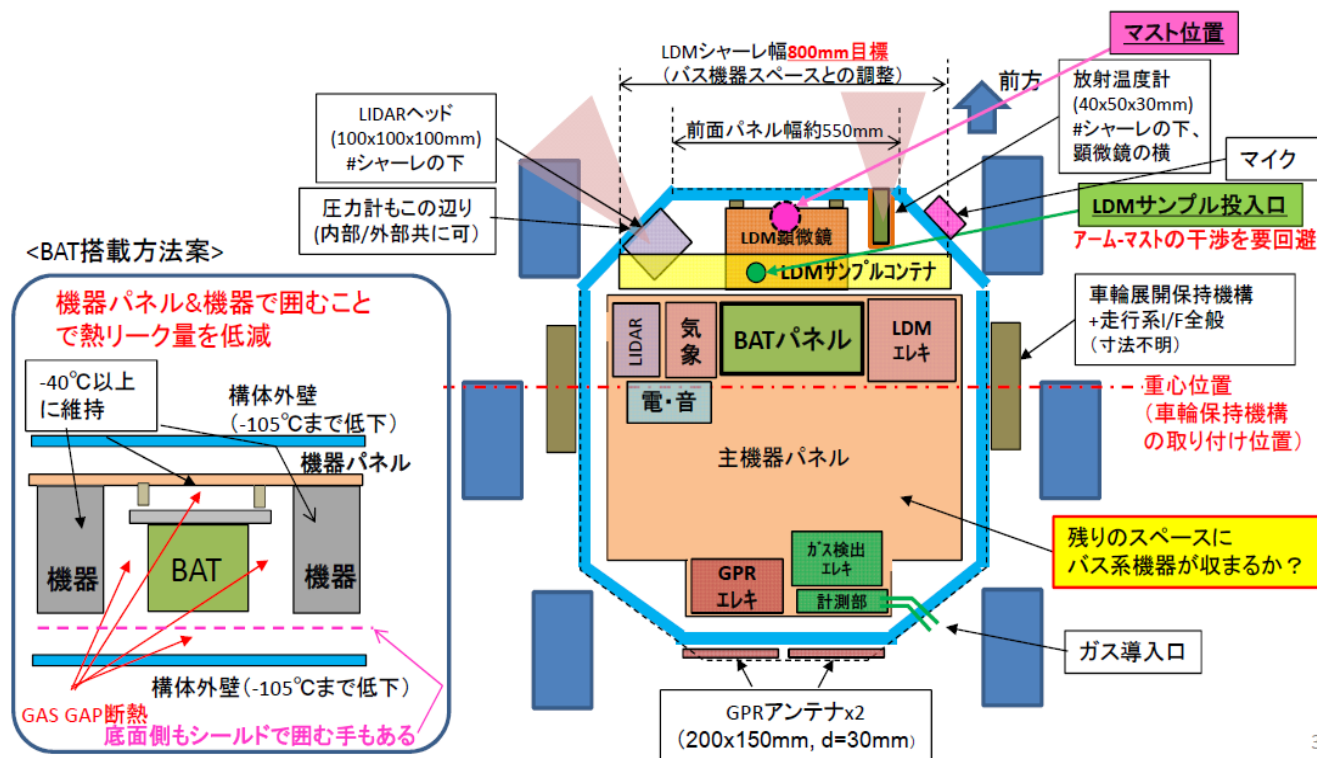
10

■ プライマリ測器

- 生命探査モジュール (S4-012)
- 地中レーダモジュール (P-199)
- 地質カメラ
- 気象観測パッケージ (P-194)

■ セカンダリ測器

- ガス検出器 (P-195)
- 音波計測器 (P-198)
- 粒子センサー (P-193)
- ダスト観測用短距離 LIDAR (P-193)
- 国際連携枠



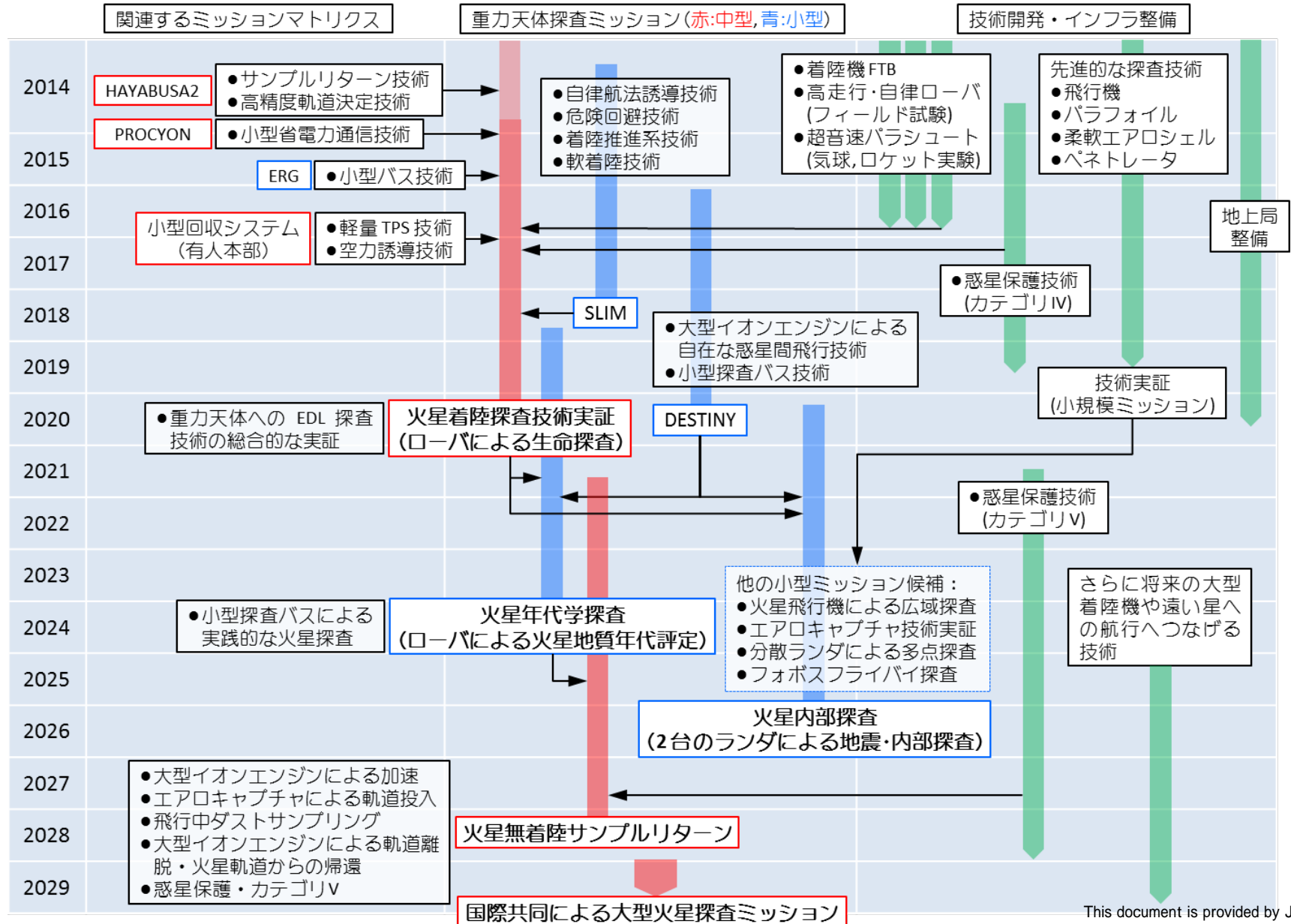
技術要求に対する技術開発戦略

11

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(越夜・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

火星探査プログラム・技術ロードマップ(案)

12



なぜ 2020 年なのか

13

■ 火星生命探査ミッションを実現する時期

- ISECG では 2030 年以降に国際協働火星探査を実現することが議論される中, 日本は当該ミッションでリーダーシップを発揮する意思があることを対外的に宣言しており 2020 年代の半ばまでに火星着陸探査を含む技術力強化が必要
- 既に民間すら有人火星探査を意識した活動を行っており, この流れは止まらなると予想される. 早期に(火星が汚染される以前に)生命探査を実施すべき
- 対象天体が限定的な探査では, 地球と対象天体の位置関係から探査のタイミングが限られる. 火星の場合 2 年ごとであり, 2018 年が打上条件が最も良く, 次いで 2020 年, それ以降は 2026 年まではあまり良好な打上条件が得られない
- 火星探査はアジア諸国も積極的に参入しつつある
 - インド — 2013 年にオービタを打上(2014年火星着)
— 2020 年代初頭に着陸探査を行う計画
 - 中国 — 2020 年にランダを利用した探査を計画(生命・地質探査)
 - UAE — 2021 年迄に火星探査を行う計画を公表



2020 年に火星着陸探査技術実証ミッションを実現する

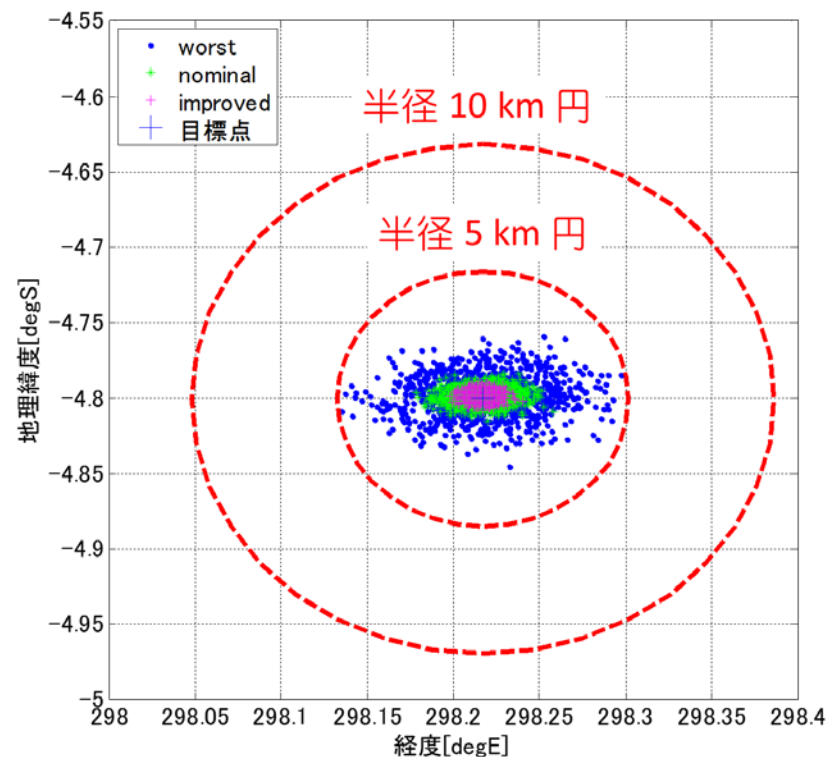
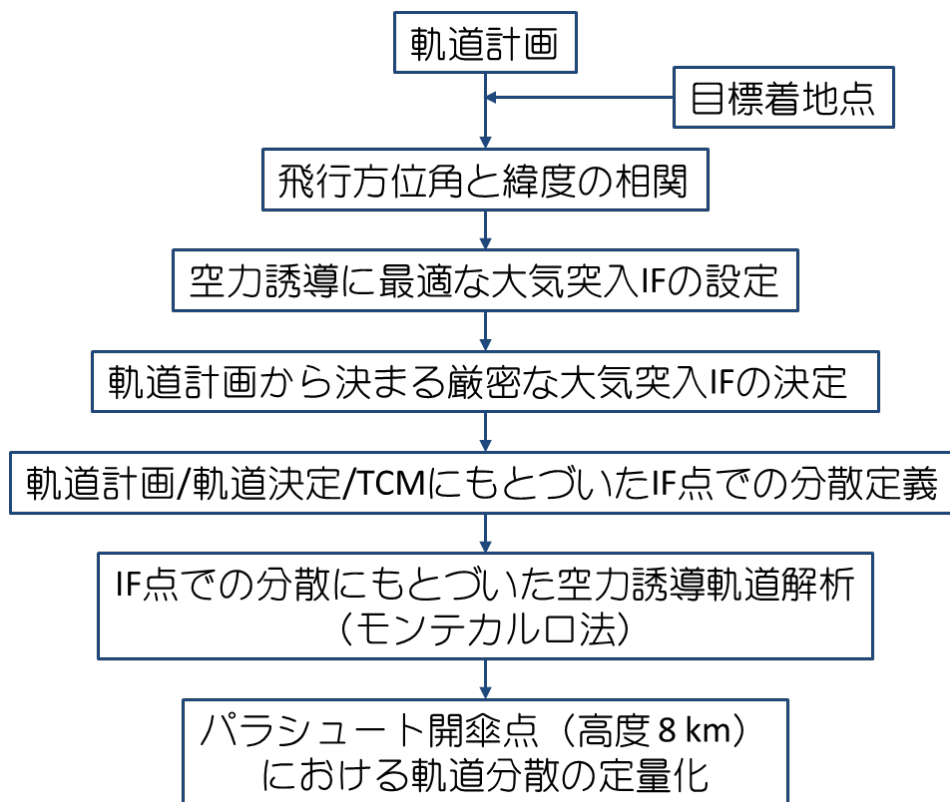
技術開発の例 (1/5)

14

■ 高精度空力誘導技術(研開・誘導 G)

- JPL の DSN 連携による高精度軌道決定・TCM, 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

ポスターセッション P-200

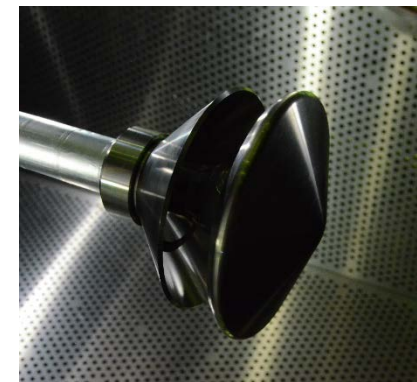
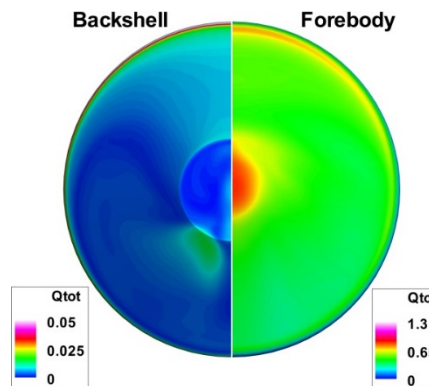
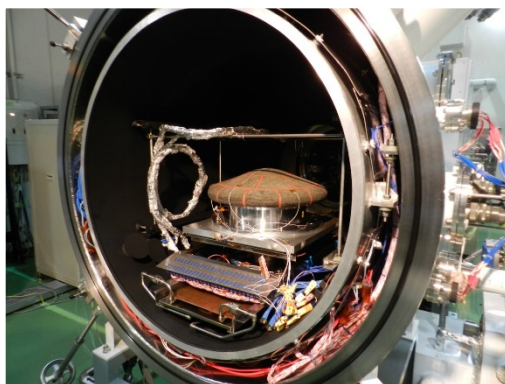
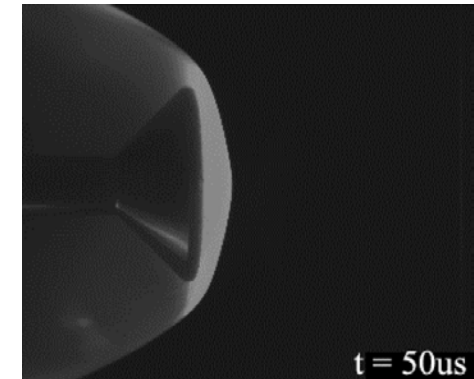
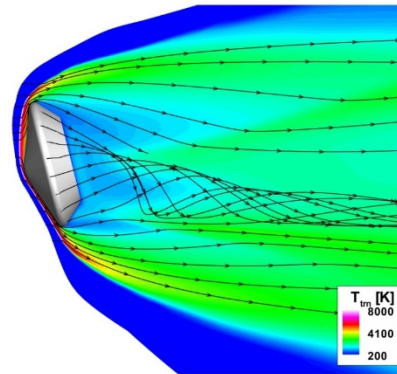
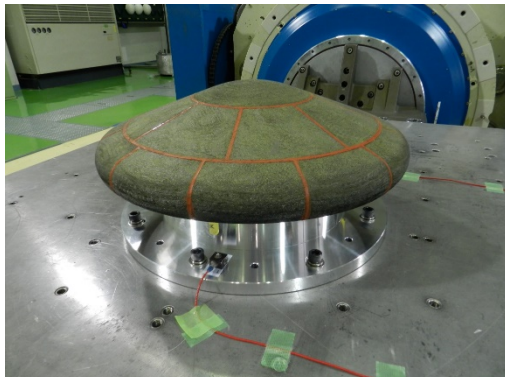


技術開発の例 (2/5)

15

■ 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部分実証(2016 年予定)

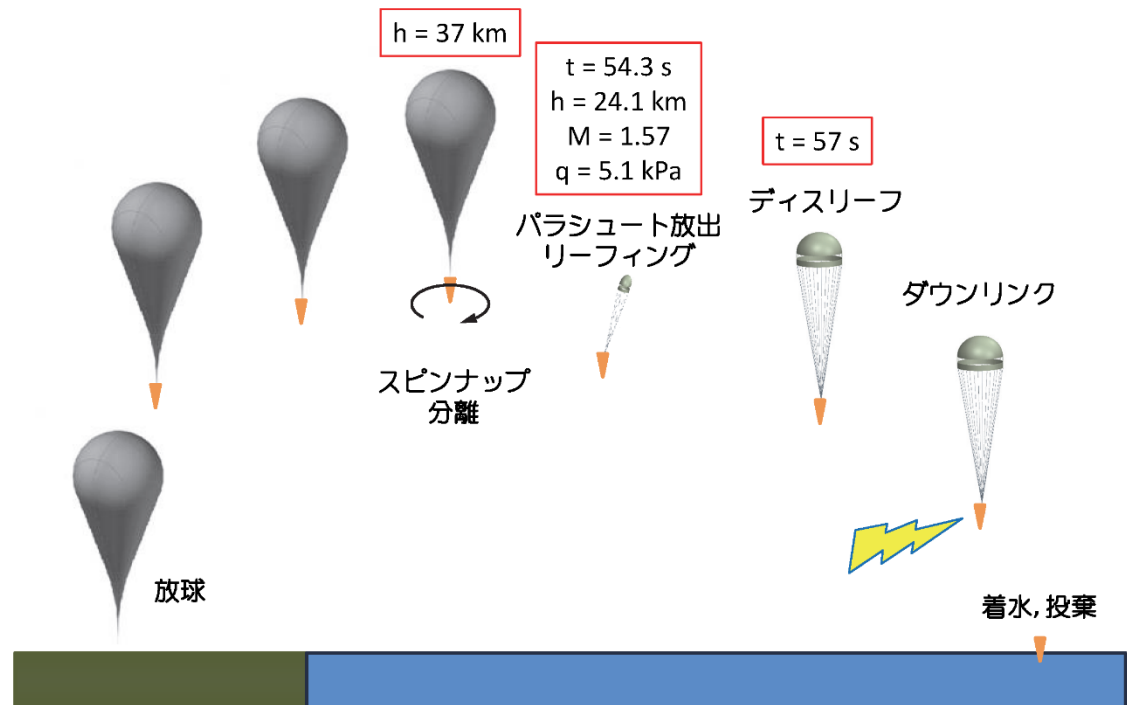
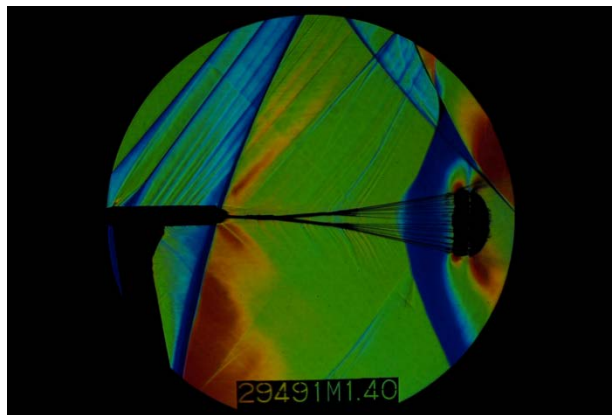


技術開発の例 (3/5)

16

■ 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・実験室モデルの性能検証完了
- 気球実験(2015年予定)
- 観測ロケット実験(2017年計画)



技術開発の例 (4/5)

17

■ 惑星保護技術の開発(研開・未踏C / ISAS)

- COSPAR カテゴリ 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
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

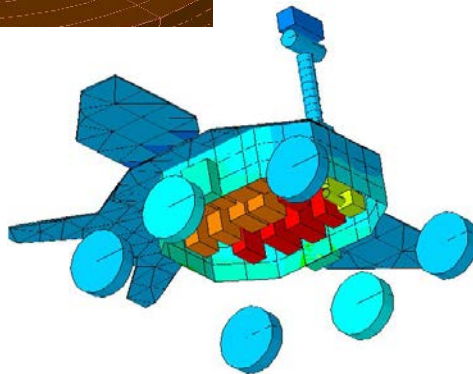
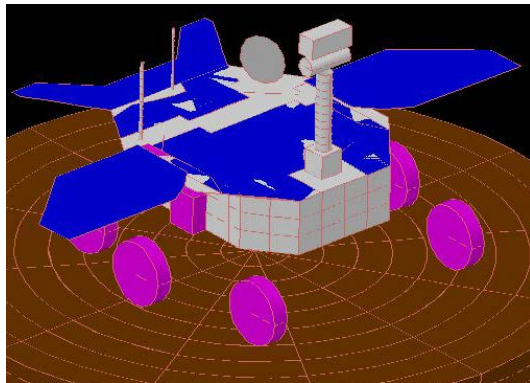
技術開発の例 (5/5)

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

ポスターセッション P-191



結論

19

- 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, 継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
- 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