

国産 Mars Lander の民間開発に向けた基礎技術研究の実行可能性調査

堀井 樹**1, 眞部 広紀**2, 門間 彩介**1

Feasibility Study on Fundamental Engineering Research for Private Development of Domestic Mars Lander

Tatsuki HORII *1, Hiroki MANABE**2, Sasuke KADOMA**3

Key words: Lander, Mars exploration, Domestic Private Development

Abstracts: In this report, we discuss fundamental engineering research for private development of domestic mars lander.

1. 概要

古来より火星は人類の関心を惹いてきた惑星である。20 世紀には、神話から SF の題材となり、さらに現実的な探査の対象になった。21 世紀の現在、Mars2020¹⁻⁴⁾に代表される火星無人探査プロジェクトでは、探査ローバの Perseverance が稼働中であり、小型火星ヘリ Ingenuity の飛行実験を行っている。また、将来的な火星有人探査を射程に入れたアルテミス計画（月有人探査を行ったアポロ計画の発展プロジェクト）⁵⁻⁸⁾が進行中であり、月周回軌道上の前哨基地として計画されているステーション Gateway は、月面に向かう着陸船や月を越えた目的地（火星など）に向かう宇宙船の港となり、深宇宙探査の中継点となる予定である。我が国でも政策として内閣府の宇宙基本計画⁹⁻¹¹⁾、それを裏付ける日本宇宙航空学会の JSASS 宇宙ビジョン 2050¹²⁾を基盤戦略として、地球圏だけでなく月・火星への探査や宇宙開拓、民間との共同を促している。火星の衛星には MMX¹³⁾など、火星に関する取り組みが活発化している。これらの計画には宇宙輸送システムが不可欠であるが、地球から輸送してきた探査機を火星の地表面に降ろす Lander（着陸機）の国内研究の事例¹⁴⁾は多くない。

本グループは推力 1kN 級の液体燃料ロケットエンジン研究に携わっていて、燃焼試験に成功している。火星探査用 Lander を日本の民間で独自開発するために必要な基礎要素研究の事前検討を行った。

2. 研究目標

Lander に関する基礎要素技術の習得を促進し、本格的な Lander 研究開発に繋げるためには、地球上での段階的なシミュレーション実験を高頻度で実施して、性能検証を行うことが不可欠である。本研究では、2024 年までに以下の項目について研究を行う：

- ① 地球上でのシミュレーション実験機体の開発
地球上で着陸実験が可能な、小型の Lander 機体 (LX1) を開発する(Fig1,Table1)。
- ② LX1 を用いた実験プロセスの構築
LX1 の運用を確立し、LX1 をプラットフォーム・ハードウェアとして多くの研究者が手軽に実験できるような実験プロセスを構築する。
- ③ Lander 実験環境の構築
LX1 の着陸実験場の確保や法的手続きの手法を確立する。

上記三点を実現し Lander 開発の基礎要素技術を習得する。また、開発環境と実験環境（実験場）を整備するプロジェクトを並行させる。

* 原稿受付 令和 4 年 10 月 31 日

**1 先進的 UAV 研究事業 AeroFlex

**2 佐世保工業高等専門学校 基幹教育科

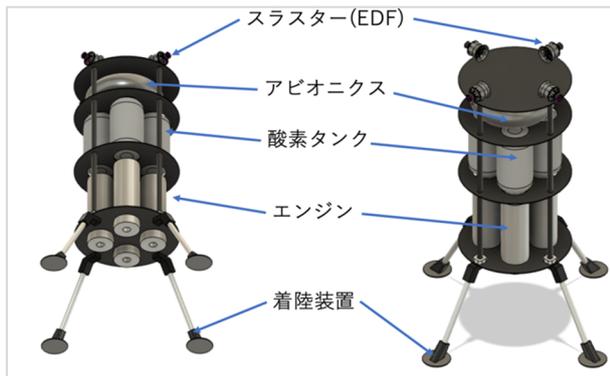


Fig1 小型着陸実験機 LX1 の完成予想図

LX1 の目的

- 地球上で手軽に実験できる Lander 実験機
- Lander 開発に関する基礎技術の習得

LX1 諸元 (仮)

- 全長：400mm
- 前高：1000mm
- 重量：10kg
- ペイロード：500g

Table1 LX1 の諸元

3. LX1 の開発構想

地球上で実験する Lander のシミュレーションモデルは高頻度の使用を想定している。可能な限り運用しやすく、製作コスト・運用コストを抑制できることを念頭に、各システムについて以下の構成を検討している：

① メインスラスター

Lander の機体を制動降下・滞空 (ホバリング) ・浮上させる役割を担う。実機では過酸化水素やヒドラジンをを用いた 1 液式ロケットエンジンが用いられることが多い。本研究の開発機体は、広さが限定された実験場・射場で高頻度の運用が想定されるため、比較的安全で扱いやすい以下の方法を検討中である：

GOx ハイブリッドエンジン¹⁵⁾

ガス酸素 (酸化剤) と固形燃料を反応させて推力を得る。比較的扱いやすい材料、燃料で製作運用可能。また、酸化剤の ON/OFF により簡単にエンジンを制御できる。

高圧蒸気ロケット

ボイラタンクに水を入れ、電熱等の熱源で、高圧水蒸気を作り、それを一気に噴射することで推力を得る。自作ロケットのエンジンとして海外では比較的メジャーな方法である。排気が燃焼型ロケットと比較して低温であるため、扱いやすい。

② 姿勢制御用スラスター

機体の姿勢を制御するためのスラスターで、機体上方に取り付けられる。本研究では、電動式ダクトファン(EDF)を用いる。電氣的に制御可能であり、制御実験に最適と考える。

③ 制御装置

主に、機体の姿勢や高度を制御するためのコントローラとセンサから構成される。筆者 (堀井) のドロー製造企業 (合同会社 AeroFlex)¹⁶⁾ で培った制御技術が Lander の制御にも応用可能である。センサは次のものを搭載する。

IMU：機体の加速度、角加速度を検知する。

レーザ距離センサ：地上からの距離 (高度) を正確に計測し、着陸のためのスラスター点火タイミング等の判断基準とする。

4. 予定実験

実験用小型着陸機 LX1 について、以下の Phase に分けて段階的な実験と開発を行う：

Phase1：宙吊り状態での動作試験

機体重心付近から機体を宙吊り状態にして動作試験を行う。各種機器の動作確認や姿勢制御 (フィードバックゲイン) の確立を目的とする (Fig2)。

Phase2：着陸試験

高所から機体を落下させ、スラスターにより地表近くで減速し、着陸する。着陸機としての性能評価を目的とする (Fig3)。投下実験には Lander のキャリアーには大型 UAV を検討中である (Fig3 (Table2))。

Phase3：ライ・バック試験

地面からスラスターによって離陸し、数秒間滞空した後スラスターを使って着陸する。制御性能の確認を目的とする (Fig5)。

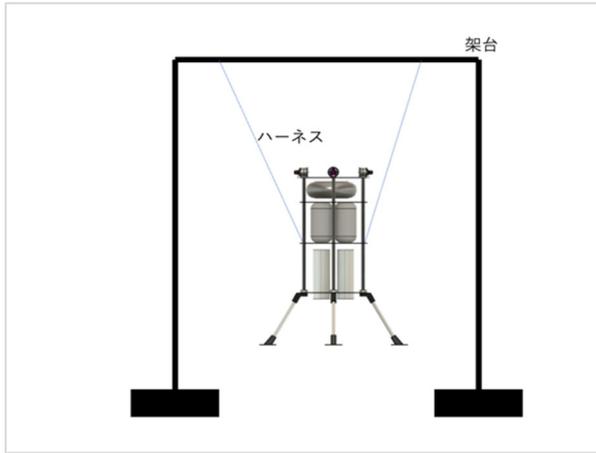


Fig2 宙吊り実験 (模式図)

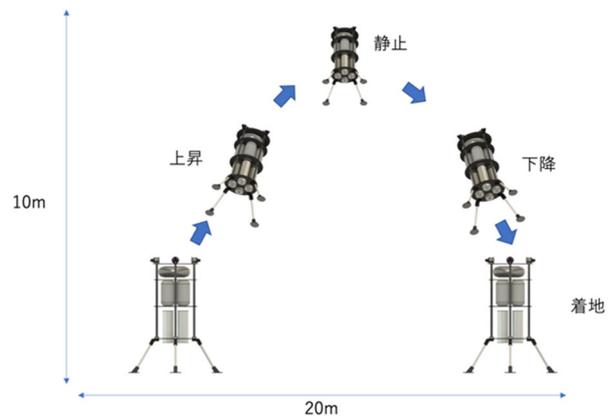


Fig5 ライ・バック実験 (模式図)

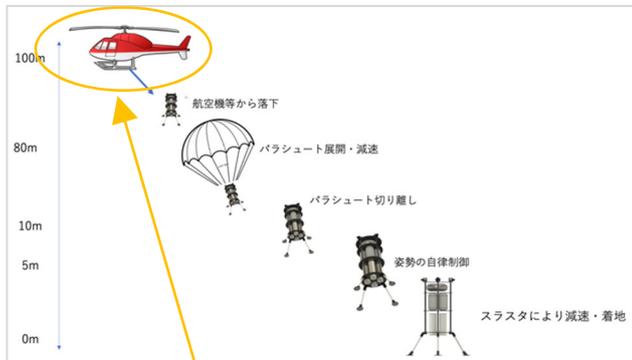


Fig3. 上: 着陸実験 (模式図)

下: 農業用ドローンを実験機用に改良した大ペイロード UAV

名称	Pathfinder LP
全長	1400mm
機体重量	14.5kg
ペイロード	10Kg
飛行時間	12分

Table2 大ペイロード UAV の諸元

5. まとめ

火星 Lander を民間開発するための事前検討を行い、基礎段階の実機実験に必要な技術項目をリストアップした。今後は、項目別にシミュレーションと野外実験を実施するプロジェクトを立ち上げていく。スラスタや着陸装置のような個々の部分については、大学・工業高等専門学校の研究機関と連携して研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) K.A. Farley, K.H. Williford, K.M. Stack, R. Bhartia, A. Chen, M. de la Torre, K. Hand, Y. Goreva, C.D.K. Herd, R. Hueso, Liu, **Mars 2020 Mission Overview**, Space Sci. Rev (2020) 216:142 <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11214-020-00762-y.pdf?pdf=button>
- 2) Paul A. Boeder, Carlos E. Soares, **Mars 2020: Mission, Science Objectives and Build**. <https://trs.jpl.nasa.gov/bitstream/handle/2014/53209/CL%2320-3860.pdf?sequence=1#:~:text=Mars%202020%20will%20look%20for,future%20robotic%20and%20human%20exploration.>
- 3) NASA, **Mars 2020 Mission Overview** <https://mars.nasa.gov/mars2020/mission/overview/>

4) Susan Slavney (Prepared, Custodian),
Mars 2020 PDS Archive Overview Version 3.0
March 22, 2022

https://pds-geosciences.wustl.edu/m2020/urn-nasa-pds-mars2020_mission/document/mars2020_overview.pdf

5) **Artemis Plan:**
NASA's Lunar Exploration Program Overview
National Aeronautics and Space Administration
PLAN September 2020

https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis_plan-20200921.pdf

6) NASA,
Artemis Plan のホームページ,

<https://www.nasa.gov/specials/artemis/>

7) 文部科学省研究開発局宇宙開発利用課
宇宙利用推進室

国際宇宙ステーション(ISS)計画と
アルテミス計画の概要

https://www.mext.go.jp/kaigisiryoy/content/20210630-mxt_uchukai01-000016486_3.pdf

8) 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
国際宇宙探査センター,

アルテミス計画に関する各国の開発状況について
https://www.mext.go.jp/kaigisiryoy/content/0210630-mxt_uchukai01-000016486_5.pdf

9) 内閣府,
宇宙基本計画の変更について

https://www8.cao.go.jp/space/plan/kaitei_fy02/fy02.pdf

10) 内閣府 宇宙開発戦略本部,
宇宙基本計画工程表 (令和3年度改訂)

https://www8.cao.go.jp/space/plan/plan2/kaitei_fy03/kaitei_fy03.pdf

11) 内閣府 宇宙開発戦略本部,
宇宙基本計画工程表改訂に向けた重点事項
(令和4年5月20日)

https://www8.cao.go.jp/space/plan/plan2/kaitei_fy04/juten_all.pdf

12) 日本航空宇宙学会,
JSASS 宇宙ビジョン 2050 (2019年3月),

https://www.jsass.or.jp/wp-content/uploads/2019/05/JSASS_SpaceVision2050_20190313_JPN.pdf

(2021年7月):

<https://www.jsass.or.jp/wp-content/uploads/2021/08/f8f3e1ff5286673fb4cf443bb7d4276d.pdf>

13) JAXA 火星衛星探査機プロジェクトチーム,
火星衛星探査計画 MMX

https://www.mext.go.jp/kaigisiryoy/content/20210915-mxt_uchukai01-000017876_2.pdf

14) 藤田和央, 佐藤毅彦,
火星着陸探査技術実証ワーキンググループ

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,

第15回宇宙科学シンポジウム (2015年1月)

<http://id.nii.ac.jp/1696/00009222/>

15) 西野沙也佳, 館山哲也, 船見祐揮, 高野敦,
星型フラクタル巡回形状グレイン搭載

ハイブリッドロケット概念設計及び打上試験,

平成30年度宇宙輸送シンポジウム: 講演集録 =

Proceedings of Space Transportation Symposium
FY2018 (2019年1月)

https://jaxa.repo.nii.ac.jp/?action=repository_action_common_download&item_id=15315&item_no=1&attribute_id=31&file_no=1

16) 合同会社 AeroFlex ホームページ

<https://horiitatsuki.wixsite.com/website>