

第28回衛星設計コンテスト

アイデアの部 ミッション概要説明書

1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内） 月極域小型探査機「TAIAN」
副題（自由記入） 可変剛性車輪を用いた地中探査支援ローバの検討
学校名 芝浦工業大学

2. ミッションの概要（プレスリリース等で使用するのので、200字程度でわかりやすく表現して下さい。）

本ミッションは、月極域探査を計画しているローバの試料採集地点選定や、月全体の水氷量推定のためのマッピングを行うことを目的としている。ミッションの対象となる月極域は平均斜度15度、最大斜度30度程度の山岳地帯となっており、レゴリス（微細な砂）の堆積した軟弱地盤を形成する過酷な走行環境となっている。この環境に対応できるように、柔軟化と硬化の両特性を切り替えられる可変剛性車輪を開発した。本ミッションに用いる「TAIAN」は開発した可変剛性車輪を搭載しており、ミッションの実現性向上を目指した。

3. ミッションの目的と意義（目的・重要性・技術的／社会的意義等）

(a) 目的

本ミッションは、JAXAが計画している月極域探査ローバ（以降メインローバとする）の試料採集地点選定や、月全体の水氷量推定のためのマッピングを行うことを目的としている。この計画で運用が検討されているメインローバは地中レーダなどを用いた水氷の観測から、オーガを用いた試料採集のすべてを担っている。しかし、1機のローバによる探査では限られた範囲しか観測することができない。そのため、提案する小型探査機「TAIAN」を用いることで広範囲にわたった観測を実現する。

(b) 重要性・技術的、社会的意義等

従来の月面探査では主に金属製の剛体車輪が用いられてきたが、月面の軟弱地盤上では車輪が空転するスタックという現象によって走行不能になる可能性がある。一方でスタック対策として柔軟車輪が研究されており、一定の成果を上げているが剛体面上での走行効率の悪さが課題となっている。そこで、軟弱地盤上では柔軟車輪の特性を持ち、剛体面上では剛体車輪の特性を持つ車輪の開発によって過酷な走行環境での走破を目指している。本ミッションで水氷の存在を確認し、さらに可変剛性車輪の有意性を示すことができれば月面有人探査の可能性や基地開発の構想も飛躍的に向上することが考えられる。したがって本ミッションは理学、工学の双方において重要な意味合いを持つといえる。

4. ミッションの具体的な内容

(a) システム

本ミッションで提案する小型探査機「TAIAN」を図1に示す。TAIANは車輪直径144mm、機体の幅が388mmの円筒形状をしている(図1(a))。また、TAIANは可変剛性車輪を備えた二輪ローバであり、観測のためカメラと地中レーダを搭載している(図1(b))。

本ミッションのミッション・シーケンスを以下に示す。

- ① メインローバとTAIANの打ち上げ
- ② 探査対象の月極域への着陸
- ③ 通常探査フォーメーションによる探査(図2(a))
このフォーメーションでは、メインローバ1機の探査範囲を拡張し、より広範囲のマッピングを行う。
- ④ 先行探査フォーメーションによる探査(図2(b))
このフォーメーションでは、通常探査フォーメーション時に障害物やメインローバの異常などがあつた際にメインローバの死角情報などを取得する。
- ⑤ 経路外探査フォーメーションによる探査(図2(c))
このフォーメーションでは、水氷が存在する可能性が濃厚な範囲が確認されたとき、本来の進行経路から一旦離れてTAIANが探査する。メインローバの行動範囲を最小限に抑えることによりメインローバ故障や走行不能の危険性を回避する。
- ⑥ メインローバによる掘削・試料採集
- ⑦ 地球へのデータ送信(図2(d))
メインローバに情報を集約し、地球に向けて通信する。

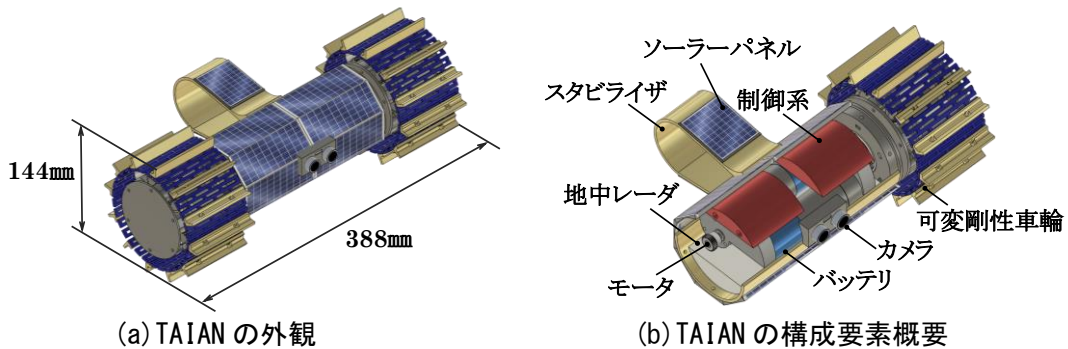


Fig. 1 月極域小型探査機「TAIAN」

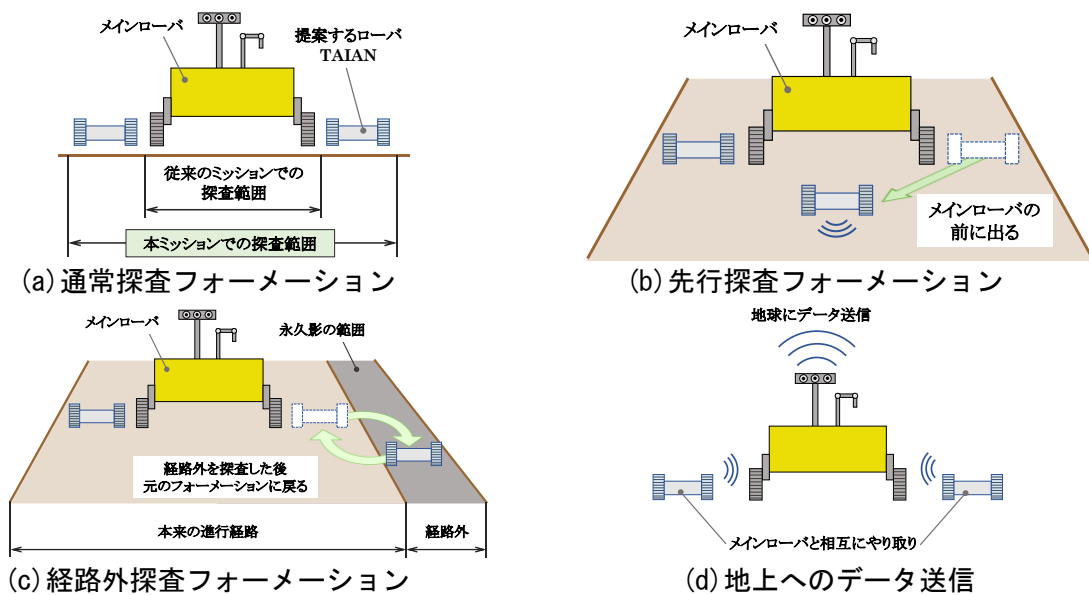


Fig. 2 ミッション・シーケンスの概要

(b) 具体的な実現方法、もしくは実現のために必要な課題・開発すべき項目

本ミッションを実現するために柔軟化と硬化の特性を持つ可変剛性車輪の開発を行った。図3に開発した車輪を示す。この車輪にはスリットトレッド構造を用いたタイヤを採用している(図3(a))。スリットトレッド構造とは、均一な間隔で引かれた平行線の間にある一定のパターンで垂直な線を引いたあみだくじのような構造である。この構造は周囲の拘束条件を変更することで柔軟化と硬化の特性を持つ。その特性の切り替えを行うのが花形展開機構である(図3(b))。展開歯車を回転させることで花びら部品を格納・展開させて拘束条件を変更する。

図4にTAIANのプロトタイプを示す。可変剛性車輪の走行性能を検証するため、剛体面と珪砂5号を用いた軟弱地盤における走行実験を行った。走行実験では剛体面、軟弱地盤ともに柔軟モードの方が剛体モードより走行距離が長く、走行性能が高いことがわかった。しかし柔軟モードでは機体のグランドクリアランス(地面から機体下部までの距離)が十分に確保できておらず、機体下部が地面に接触するとスタックを引き起こした。一度スタックすると機体下部の走行抵抗が増加し、一層スタックする現象が確認された。そのため、グランドクリアランスを十分に確保するように機体を設計しなければならない。

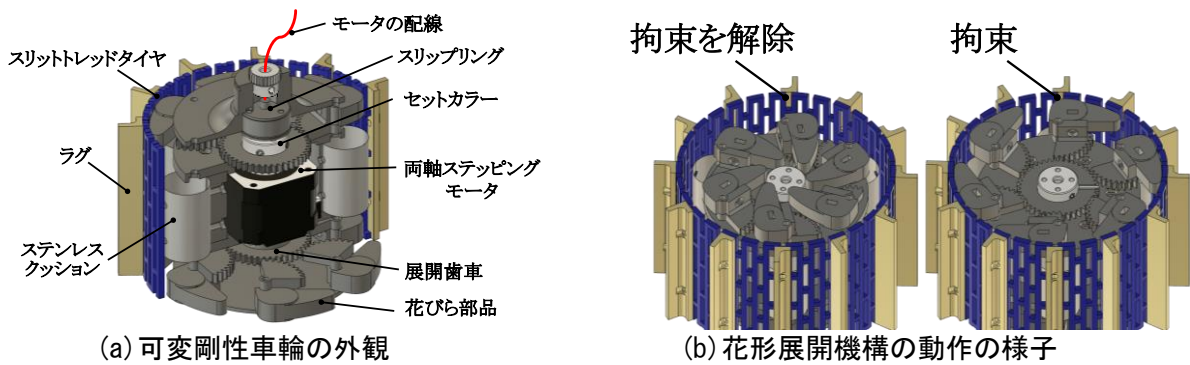


Fig. 3 スリットトレッド構造を用いた可変剛性車輪

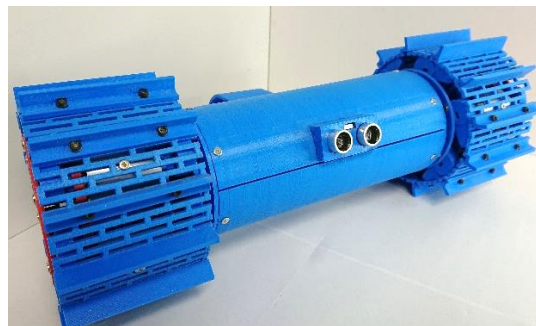


Fig. 4 TAIANのプロトタイプ

5. 主張したい独創性や社会的効果

(a) 主張したい本ミッションの独創性

本ミッションでは月探査史上初となる車輪の剛性を走行環境に応じて任意に変更できる、可変剛性車輪を搭載している点が独創的なアイデアといえる。さらに、計画中の月極域探査ローバの支援を行うことで、月極域における水氷の存在量確認に大きく貢献することができる。

(b) 得られる成果・波及効果・対象となる受け取り手

本ミッションによって水氷の存在量を確認し、資源として利用することができれば将来的に建設を検討している月面基地の構想がいつそう現実的なものとなる。さらに、TAIANによって月面の走行環境における可変剛性車輪の有意性が示されれば、今後開発される月をはじめとする惑星探査機の走行系の候補となることが期待される。

以上

月極域小型探査機「TAIAN」

可変剛性車輪を用いた地中探査支援ローバの検討

芝浦工業大学 システム理工学部 機械制御システム学科

学部 4 年 佐々木 航平

指導教員 飯塚 浩二郎

1. 背景

重力天体表面探査は盛んに計画され取り組まれており、中でも月面探査は注目を集めている。近年、日本をはじめとする各国の月探査から、月には水氷が存在する可能性があることがわかってきており、太陽光が当たらないような極域に存在していると考えられている[1]。月極域における水氷の存在量を確認し、資源として利用できれば持続的な探査が可能であり、月面基地の構築などの可能性も飛躍的に向上する。したがって、本ミッションでは月極域の探査について焦点を当てることとした。

現在 JAXA では月極域探査を 2020 年代前半に行うことを計画している[2]。これまでの探査は観測的に行われておらず、水氷には水酸基も含まれる。そのため、吸着水や結晶水として存在している可能性がある。そこでこの計画では、ローバ(以降メインローバとする)を用いた直接探査を実施し、利用可能な資源かどうか突き止めることを目的としている(図 1)。メインローバは走行しながら中性子観測やレーダ観測などによって水素の存在を確認し、最適な地点を選択して試料採集を行う。試料採集にはオーガが用いられ、掘削から観測機器への試料運搬の一連の探査を行う。これまでの調査などによって地下 1m 付近に水氷が分布していると考えられているため、掘削の深さは 1.5m 程度を予定している。この探査によってどの範囲にどの程度水氷が存在しているか確認できれば月全体の水氷の総量が推定できる。しかし、この計画では観測から試料採集のすべてを 1 機のメインローバが担っているため負担が大きい。特に最適な試料採集地点を選定するには広範囲にわたってレーダ観測などを行う必要があるが、1 機では限

られた範囲しか観測することができない。

さらに月極域探査をする上で、その環境はとて過酷なものとなっている。月極域では永久に日が当たらない永久影が存在する。また、昼夜の温度差が非常に激しく、日照時 $-40^{\circ}\text{C}\sim-60^{\circ}\text{C}$ 、日陰時 -200°C となる。さらに、地表面はレゴリスと呼ばれる微細な砂で覆われた軟弱地盤で形成されている。そのため従来用いられてきた金属製の剛体車輪では砂で滑って埋もれてしまうスタックと呼ばれる現象が起きる。さらに月極域は山岳地帯となっており、平均斜度 15 度、最大斜度 30 度程度と探査をする上で非常に過酷な環境といえる[3]。月極域探査計画で運用が検討されているメインローバはクローラ型が想定されており、模擬砂上で斜度 25 度程度を走行することが確認されている[3]。しかし、上述のようにレゴリスは微細な砂であるため、履帯とスプロケットから構成されるクローラ型では機構部にレゴリスが侵入して摩耗してしまうことが課題として挙げられる。一方で車輪型は機構が単純なため機構部へのレゴリスの影響が最小限となっている。先行研究によって、軟弱地盤上において柔軟車輪(図 2)を用いることで剛体車輪よりも走行性能が向上することがわかっている[4][5]。しかし、柔軟車輪の欠点として剛体面上での走行効率の悪さが挙げられる。

以上より、従来用いられてきた車輪型を採用し、柔軟車輪と剛体車輪の両特性を持つ可変剛性車輪の開発によって月面走行における問題を解決できると考えた。さらにこの車輪を搭載した小型探査機 TAIAN とメインローバが連携を取って地中の観測を行うことで、広範囲にわたって観測データを取得でき試料採集地点の選定に貢献できる。



Fig.1 月極域探査計画で運用予定のローバ[6]

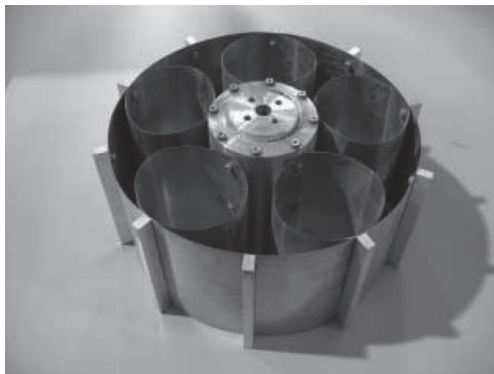


Fig.2 柔軟車輪の例[5]

2. 目的

上述のように、月極域における試料採集地点の選定や水氷の存在分布を確認するためにマッピングが必要だといえる。また、機構部へのレゴリスの影響を考慮するとクローラ型より車輪型の方が優れている。さらに車輪に柔軟化と硬化の特性を持たせ、走行環境に応じて切り替えることで走行性能が向上することが考えられる。

以上より、月極域の水氷分布マッピングを行う、可変剛性車輪を搭載した小型探査機 TAIAN を提案する。

3. ミッション概要

3.1. ミッション内容

本ミッションでは、メインローバの試料採集地点の選定や水氷の存在量推定のための水氷分布マッピングを行うことを目的としている。メインローバと連携した観測によって、広範囲にわたる地中観測データの取得を考えている。本ミッションのサクセスレベル

は以下の通りとなる。

- ミニマムサクセス
 - (1) 可変剛性車輪の走行データ収集
 - (2) メインローバと連携した広範囲地中観測
- フルサクセス
 - (1) 地中の水氷分布マッピング
 - (2) メインローバの試料採集地点の選定

3.2. ミッションの対象範囲

本ミッションでは月極域を対象範囲としているが、緯度 85 度以上の領域を極域としている。また、これまでの観測から北極域と南極域の両方に水氷が存在していると考えられている。しかし、地質的観点から、南極域は月の裏側からも多様な物質が飛散してきている可能性が高く、科学的価値の高い岩石を採集できると考えられている。また、着陸地点の選定を視野に入れると、南極域の観測データは多量に存在しており、障害物の識別が容易で比較的风险が低くなっている[7]。

以上より、月の南緯 85 度以上をミッションの対象範囲となる月極域とする。さらに、地球とメインローバが直接通信を行える範囲を対象とする。

3.3. 「TAIAN」の名前の由来

TAIAN とは、旧暦で用いられていた六曜のうちの一つ、「大安」から名付けられている。大安とは大いに安し、万事進んで行くに良いとされる日とされている。月の満ち欠けに基づく旧暦の中で、何事においても吉とされる日「大安」から名前を取った「TAIAN」にはミッションを順調に達成し、無事成功させるという願いが込められている。

3.4. TAIAN の外観

本ミッションで用いるローバ TAIAN の外観と主要寸法を図 3 に示す。車輪の直径は 144mm、機体の幅は 388mm の円筒形状をしている。また、TAIAN の構成要素の概要を図 4 に示す。TAIAN は 2 つの可変剛性車輪からなるローバであり、カメラと地中レーダを備えている。

電源系は 55Ah の容量を持つバッテリーを採用している。また、充電方法は機体周囲に取り付けられたソーラーパネルと、メインローバによる電磁誘導を用い

たワイヤレス充電である(図 5)。極域は高緯度地域となっており、TAIAN の機体高さではソーラーパネルによる充電量が限られる。そこで電磁誘導を用いたワイヤレス充電を用いてメインローバから送電することで充電量を確保している。

TAIAN のミッション重量を表 1 に示す。TAIAN1 機の重量は 7.36kg である。メインローバのミッションにおいてミッションペイロードを含むメインローバの重量が 309kg、ランダのオプション器具重量は 40kg とされている[9]。本ミッションは TAIAN を 2 機用いることを前提としているため、ミッション全体では 14.72kg となるがランダに搭載するには十分許容範囲内といえる。

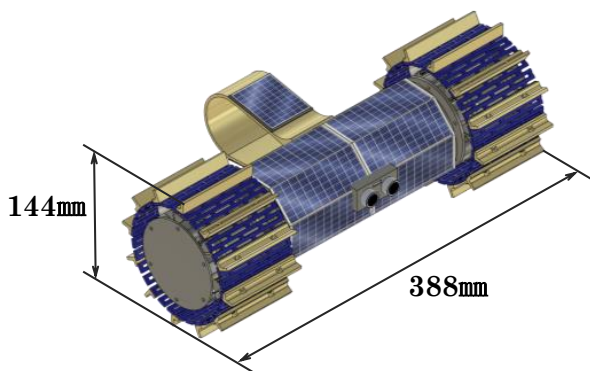


Fig.3 TAIAN の外観と主要寸法

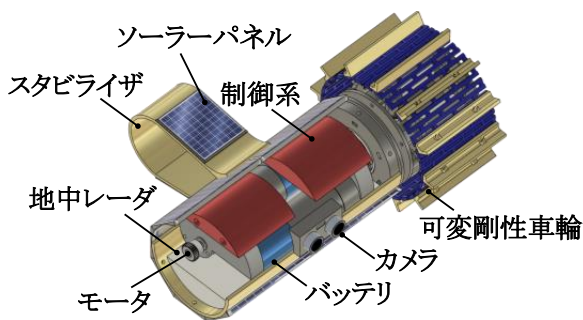


Fig.4 TAIAN の構成要素概要

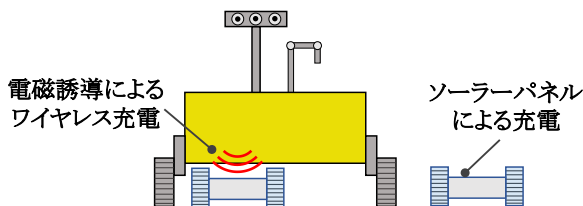


Fig.5 TAIAN の充電方法

Table 1 TAIAN のミッション重量

バスシステム	外装	1.00 [kg]
	可変剛性車輪	1.50 [kg]
	モータ	0.36 [kg]
	バッテリー	1.00 [kg]
	制御系	0.50 [kg]
ミッションペイロード	地中レーダ[8]	3.00 [kg]
TAIAN 1 機		7.36 [kg]
ミッション全体		14.72 [kg]

3.5. ミッション・シーケンス

本ミッションのミッション・シーケンスは以下の通りとなる。

① メインローバと TAIAN の打ち上げ

メインローバに用いられるランダに TAIAN を搭載して打ち上げを行う。

② 探査対象の月極域への着陸

③ 通常探査フォーメーション

通常探査フォーメーションの概要を図 6 に示す。このフォーメーションでは TAIAN に搭載された地中レーダによって深さ 2m 程度の状況を識別し、試料採集地点の選定材料とする。また、メインローバの探査範囲と合わせてより広範囲の地中情報を取得し、マッピングを行う。

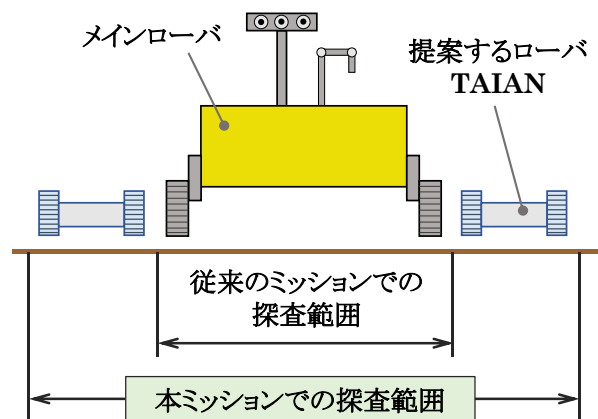


Fig.6 通常探査フォーメーションの概要

④ 先行探査フォーメーション

先行探査フォーメーションの概要を図 7 に示す。通常探査フォーメーション時に障害物が存在するときやメインローバに異常があり、一時停止したときにこのフォーメーションとなる。TAIAN

はメインローバの前に出てカメラによる障害物の調査やメインローバの死角情報を取得する。

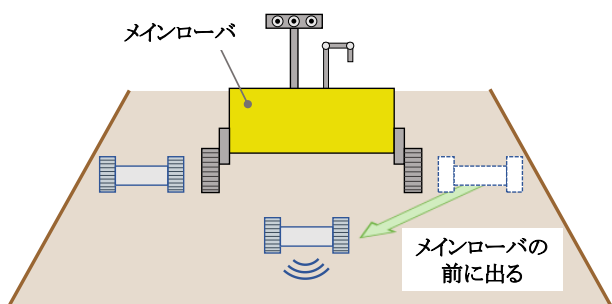


Fig.7 先行探査フォーメーションの概要

⑤ 経路外探査フォーメーション

経路外探査フォーメーションの概要を図8に示す。このフォーメーションでは、本来の進行経路から外れた場所の地中情報を取得しマッピングする。図8に示すように永久影のある範囲を調べたい場合、太陽光が当たらないためメインローバの探査時間は限られてしまう。また進行経路外へローバが移動すると、その分余計にエネルギーを消費することになる。そのため、メインローバが動けなくなる危険性がある。そこでTAIANを用いることでその危険性を回避するとともに地中情報を取得することができる。

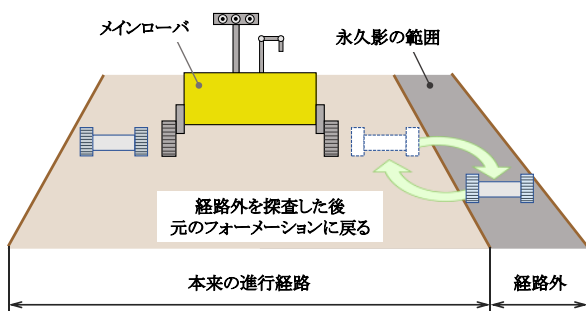


Fig.8 経路外フォーメーションの概要

⑥ メインローバによる掘削・試料採集

メインローバとTAIANによって選定された場所を掘削し、試料採集を行う。

⑦ 地球へのデータ送信

地球へのデータ送信の概要を図9に示す。まずメインローバとTAIANの間でデータの通信が行われそれぞれの調査情報がメインローバに集約される。その後メインローバが地球に

向けて通信を行う。

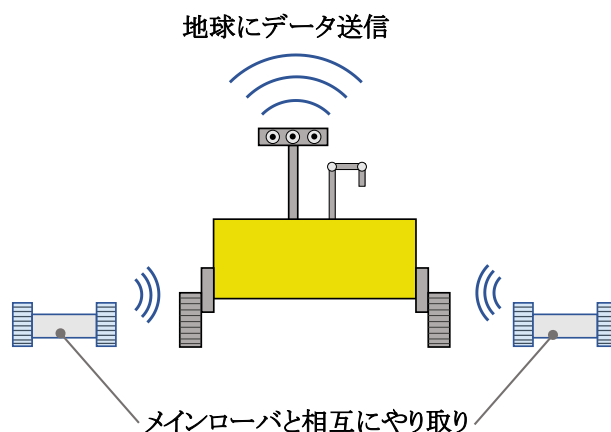


Fig.9 地球へのデータ送信の概要

4. 可変剛性車輪の提案

4.1. スリットレッド構造を用いたタイヤ

図10にスリットレッド構造を用いたタイヤを示す。スリットレッド構造は、均一な間隔で引かれた平行線の間で一定のパターンで垂直な線を引いたあみだくじのような構造である[10]。スリットレッド構造は周囲を拘束する条件によって変位量が変わる特性を有する。図10に示す赤線に沿って周囲を拘束するとタイヤ全体は硬化の特性を持つ。逆に周囲の拘束を解くとタイヤ全体は柔軟化の特性を持つ。

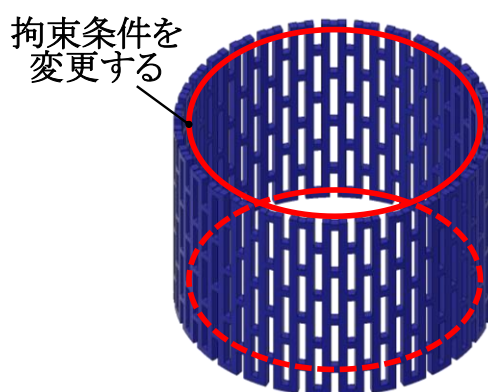


Fig.10 スリットレッド構造を用いたタイヤ

4.2. 花形展開機構

スリットレッド構造の特性を最大限に活用するため、花形展開機構を開発した。図11に花形展開機構の動作の様子を示す。図11(a)より柔軟モードはスリットレッドタイヤが拘束されていない状態であるた

め、車輪自体は柔軟化の特性を持つ。展開歯車を回転させると図 11(b)に示す剛体モードとなる。このときはスリットレッドタイヤが拘束された状態となるため、車輪自体は硬化の特性を持つ。花形展開機構を用いることでスリットレッド構造の柔軟化と硬化の特性を実現することができる。

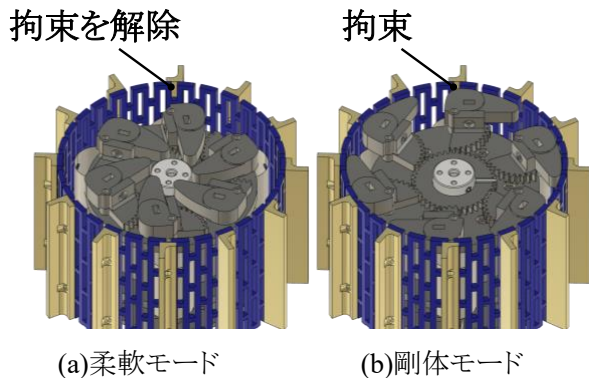


Fig.11 花形展開機構の動作の様子

4.3. 可変剛性車輪全体の構成要素

可変剛性車輪全体の構成要素を図 10 に示す。スリットレッドタイヤの周囲には高さ 12 mm のラグが取り付けられている。また、この可変剛性車輪は中心部に、展開用歯車を回転させるための両軸ステッピングモータが内蔵されている。そのため、車輪が駆動する回転によってステッピングモータの配線が絡まり断線することが考えられる。この問題を解決するためスリップリングを取り付け、駆動用モータに接続する歯車の中心部分から配線を通す構造とした。

可変剛性車輪には防塵対策を施す必要がある。検討している防塵対策を図 13 に示す。ベクトランやケブラーなどの宇宙の過酷な環境でも使用できる繊維素材を用いたカバーで機構部分を覆うことでレゴリスの侵入を防いでいる。

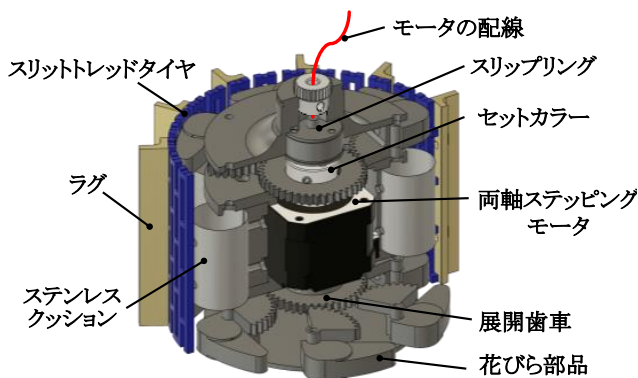


Fig.12 可変剛性車輪全体の構成要素

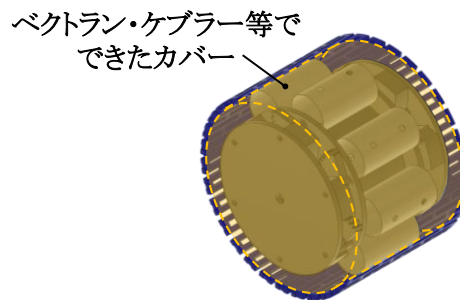


Fig.13 繊維素材を用いた防塵対策用カバー

5. TAIAN の走行実験

5.1. 実験目的

開発した可変剛性車輪を搭載した TAIAN を剛体面、軟弱地盤の異なる走行面で走行させ、剛性を変化させたときの走行性能の差異を検証する。

5.2. 実験装置・方法

実験に用いた機体を図 14 に示す。機体寸法は設計通りであり、機体重量は 2.5kg である。機体は 3D プリンタで製作し、材質には PLA 樹脂を用いた。

次に実験環境を図 15 に示す。図 15 より、実験環境の寸法は奥行き 400 mm、幅 750 mm であり、この実験環境で行える最大走行距離は 600 mm となる。斜度を 0 度から 5 度ずつ上げていき、走行不能角度に達するまで行いその際の走行距離を計測する。また、剛体面を砂のない状態とし、軟弱地盤には珪砂 5 号を用いて月面の軟弱性質を模擬した。

実験では以下のように車輪の条件を変更する。

- ① 走行面が剛体面または軟弱地盤
- ② 車輪状態が剛体モードまたは柔軟モード
- ③ 車輪形状がラグ無しまたはラグ付き

本実験では車輪の条件を変更したときの、機体の走行距離を比較して走行性能の評価を行う。

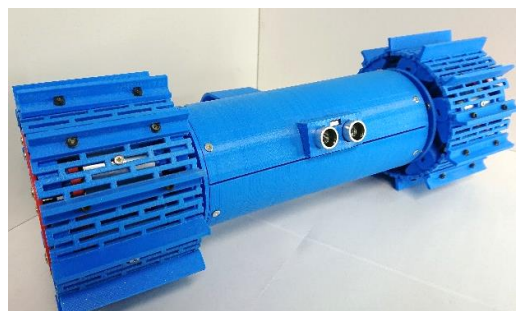


Fig.14 実験に用いた TAIAN のプロトタイプ



Fig.15 実験環境

5.3. 実験結果

図 16 に TAIAN の走行実験結果を示す。図 16 は走行不能角度とそのときの走行距離の関係を表している。剛体面、軟弱地盤ともに柔軟モードで走行距離が長くなった。また、剛体面、軟弱地盤のいずれにおいてもラグ付きの方が、走行距離が長いことがわかる。剛体面上をラグ付き車輪が柔軟モードで走行する際のデータが欠損しているが、これは実験の際に車輪が破損し走行不能になったからである。破損した際の様子を図 17 に示す。

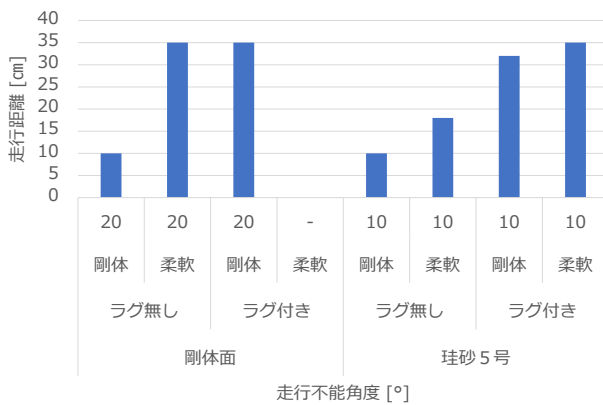


Fig.16 TAIAN の走行実験結果

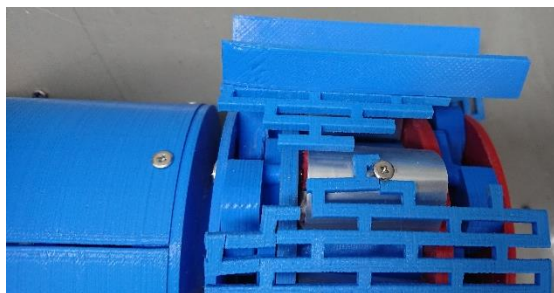


Fig.17 破損したラグ付き車輪

5.4. 考察

走行実験の結果より、剛体モードで走行不能になる角度であっても柔軟モードに移行することで走行できる可能性を示した。しかし、軟弱地盤上においてはモードによって走行距離に差はあるものの斜度 10 度でスタックして走行不能になった。この原因として機体のグランドクリアランス(地面から機体下部までの距離)が十部確保できていなかったことが考えられる。図 18(a)にスタックする直前の様子を、図 18(b)にスタックした後の様子を示す。この時機体下部は地面と接触していることがわかる。そのため走行抵抗が増加し、車輪のスタックが悪化するよう作用したことが考えられる。表 2 に車輪状態とグランドクリアランスの関係を示す。柔軟モードでは最大変位量になるときの値である。表 2 より、ラグを取り付けなければグランドクリアランスを確保できないといえる。また、ラグ付きであっても、グランドクリアランスに余裕はない。以上より、可変剛性車輪はモード変更することで走行性能が向上することがわかったが、柔軟モードでは十分なグランドクリアランスの確保が必要である。

また、実験結果より、車輪の破損が見られた。これはスリットトレッドタイヤに PLA 樹脂を用いているためもろく壊れやすいためであると考えられる。さらに柔軟モードで走行抵抗が増加した状態で、ラグの一角所に力が集中したことが破損の原因につながったといえる。



(a) スタックする直前の様子



(b) スタックした後の様子

Fig.18 スタック前後の様子

Table 2 車輪状態とグランドクリアランスの関係

車輪状態	グランドクリアランス
ラグ無し剛体モード	12 [mm]
ラグ無し柔軟モード	0 [mm]
ラグ付き剛体モード	24 [mm]
ラグ付き柔軟モード	12 [mm]

6. 今後の展望

6.1. グランドクリアランスを確保した機体の設計

柔軟モード時に十分なグランドクリアランスを確保するために考えられるのは、機体を小さくするか車輪径を大きくするかのいずれかである。機体を小さくすることは搭載する機器やモータなどに影響するため容易ではない。そこで車輪径を大きくすることが望まれる。また、十分なグランドクリアランスがどの程度か定量的に調べる必要がある。

6.2. ミッションを想定したフィールド試験

今回の実験では限られた実験環境での結果である。実際にミッションとして用いる場合には 2 機で運用し、メインローバなどと連携して通信を行い走行する。そのため探査のフォーメーションや探査経路の選択などを実際に試験し走行性能の評価を行う。

7. 結言

以上より、月極域小型探査機 TAIAN のミッションとローバの提案を行った。TAIAN は可変剛性車輪を搭載しており、走行状況に応じて車輪の剛性を変化させるという独創的なローバである。そして、可変剛性車輪の走行性能を実験により評価した。柔軟モードでは走行性能が向上するという結果が得られた。しかし柔軟モードはグランドクリアランスの確保が不十分であり、機体下部が地面と接触しスタックが悪化する欠点も判明した。今後は実験結果をもとに機体の改良を行い、ミッションの完成度を高めていく。

参考文献

[1] 水氷の資源利用可能性評価を目的とする月極域探査の紹介, 日本惑星科学会誌 Vol.28, No.1,

2019, https://www.jstage.jst.go.jp/article/yuseijin/28/1/28_53/_pdf, (2020 年 6 月 22 日閲覧)。

- [2] 太陽系科学研究領域の目標・戦略・工程表 (2018 年改訂版), https://www.wakusei.jp/~RFI_kaitei2019/for_all/wakusei_RFI2018_Main.pdf, (2020 年 6 月 23 日閲覧)。
- [3] 国際協力による月探査計画の参画に向けて参考資料, https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/fieldfile/2019/08/29/1420708_2_1.pdf, (2020 年 6 月 22 日閲覧)。
- [4] 軟弱地盤走行時における月面探査ローバ用柔軟車輪の走行性評価, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmekanto/2011.17/0/2011.17_185/_pdf, (2020 年 6 月 22 日閲覧)。
- [5] 軟弱地盤走行のための月面探査ローバ用走行系検証, 科学・技術研究第 1 巻 1 号 2012 年, http://www.union-services.com/sst/sst%20data/1_49.pdf, (2020 年 6 月 22 日閲覧)。
- [6] 合わせ技は認められないのか ~SELENE-2 の実情~, <http://www.isas.jaxa.jp/j/researchers/symp/sss13/paper/S2-004.pdf>, (2020 年 6 月 22 日閲覧)。
- [7] 資料 29-3 月着陸探査活動の JAXA における検討状況について, https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/071/shiryu/_icsFiles/fieldfile/2019/07/09/1418751_4.pdf, (2020 年 6 月 22 日閲覧)。
- [8] 宇宙科学・探査および国際宇宙探査に関する取組状況および今後の進め方について (2/4), <https://www8.cao.go.jp/space/committee/27-kagaku/kagaku-dai33/gijisidai.html>, (2020 年 6 月 22 日閲覧)。
- [9] SELENE-2 SRR Lunar polar Exploration - V documents.mX, 月極域探査ミッション仮称 SELENE-R, <https://vdocuments.mx/document/oceiselene-2i-ffeisri-ee.html>, (2020 年 6 月 22 日閲覧)。
- [10] 石井秀幸, 飯塚浩二郎, スリットトレッド構造を用いた可変剛性車輪に関する研究, ロボティクスメカトロニクス講演会公演概要集 2019 巻 0 号 2P2-Q06。