

月面探査ロボットの制作

—Tottori Rover Challenge 2025 大会に向けて—

生産技術科 上田 潤一・藤田 政典

Creation of a Lunar Exploration Robot

—Towards the Tottori Rover Challenge 2025—

Junichi UETA and Masanori FUJITA

概要 昨年度、鳥取県主催で学生を対象とした Tottori Rover Challenge 2025 が鳥取砂丘月面実証フィールド「ルナテラス」において開催されることとなった。本報では、大会の概要と大会に出場するために製作した機体の特徴を紹介する。また、大会に出場した結果と江津市近郊における海岸の砂地と鳥取砂丘の砂地の違いが機体に及ぼす影響を考察する。

1. はじめに

近年、地球の衛星である月は、世界的に開発および探査の対象となっている。具体的には、2030年～40年を目途に月面に有人基地の建設や水や金属資源の分布調査など計画・実施されており、科学的・経済的な価値が非常に高まっている。¹⁾鳥取県は、宇宙関連産業を地域の未来を担う新産業の一つに位置付け、産学官連携で宇宙産業の創出に向けて取り組んでいる。²⁾その関連の一つとして、鳥取県主催で学生を対象とした Tottori Rover Challenge 2025 が鳥取砂丘月面実証フィールド「ルナテラス」において開催されることとなった。

私たちは、本大会で優勝することを目標に制作に取り組むこととした。

2. 大会概要

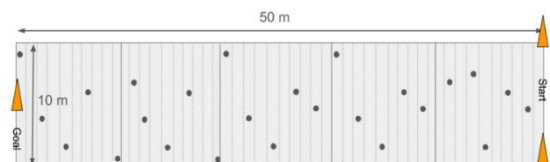
競技部門は、エントリー部門とエキスパート部門に区分される。私たちは、エントリー部門に出場することとした。エントリー部門は、予選と決勝がある。予選は、【科学探査ミッション】【自律走行ミッション】と【無人建設ミッション】の3ミッションあり、2つのミッションを選ぶことが

できる。決勝は、予選の上位3チームにより【探査総合ミッション】が行われる。競技時間は1ミッション20分である。

私たちは、予選で【自律走行ミッション】と【無人建設ミッション】を選択することにした。

2.1 予選【自律走行ミッション】

フィールド上にある25個程度の障害物を回避もしくは乗り越えながらゴールのカラーコーンを目指す競技である。競技コースは50[m]×10[m]、障害物のサイズは高さ200[mm]の土囊、水平方向に直径1000[mm]程度の穴などがある。



出典：Tottori Rover Challenge 2025 大会要項

図1 自律走行ミッションフィールド

2.2 予選【無人建設ミッション】

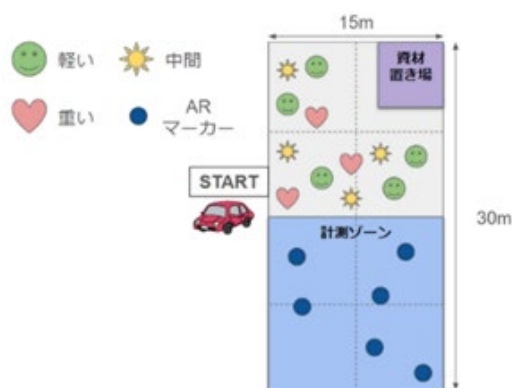
①建設現場測量ミッション

フィールドに位置座標系を含むARマーカーが

複数設置してあり、読み込むことで機体の位置情報と AR マーカーの位置座標を取得し、2 つのデータを比較し位置座標の測定精度を評価する競技である。

②資材運搬ミッション

フィールドに設置してある軽量の資材を回収し、資材置き場まで運搬する競技である。資材の材料はスタイロフォーム、質量は 100[g]以下、形状は長方形のものとなる。

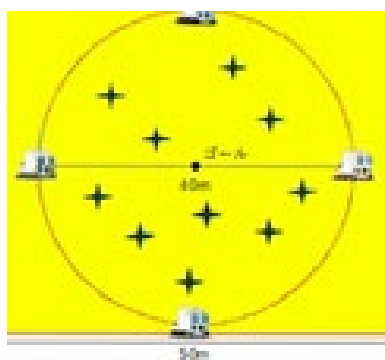


出典：Tottori Rover Challenge 2025 大会要項

図 2 無人建設ミッション

2.3 決勝【探査建設ミッション】

障害物に表示される AR マーカーを複数個読み込むことでゴール位置を推定する。推定したゴール地点との距離により順位が決定する。



出典：Tottori Rover Challenge 2025 大会要項

図 3 探査建設ミッション

3. 基本仕様

表 1 に月面探査ロボットの基本仕様、図 4 にシ

ステム構成図を示す。大きさ・質量は、大会規定に基づき (D) 500×(W) 500×(H) 500[mm]以内、質量 20[kg]以内とする。大会では、最大登坂傾斜角 20[°]を登れる機体とするため、駆動モータは砂地の摩擦係数を 0.6 とし、最大トルク 10[kg・cm]、回転数 150[min^{-1}]以上のものとする。バッテリーは、1 ミッション 20 分以上駆動できるように 7.4[V]で 4000[mA]以上のものとする。ロボットハンドは長方形で 500[g]以上の資材を運べるものとする。

制御システム構成は、自律走行時に自己位置測位が必要となるため、RTK-GNSS モジュールを採用した。また、フライトコントローラを用いることで自律制御を行う。その際に必要な PC との通信は、屋外でも免許等を必要としない 2.4[GHz]帯のテレメトリモジュールを使用する。

表 1 基本仕様

サイズ [mm]	(D) 435×(W) 470×(H) 455
タイヤ	直径 125[mm] 4 個
質量	9.5[kg]
登坂性能	傾斜角 25[°]
駆動方式	4WD
駆動部モータ	DC7.2[V] 200[min^{-1}]
制御系	The Cube Orange +(hardware) ArduPilot(software)
バッテリー	Lithium Polymer2S 7.4[V] 4000[mA]
ロボットハンド	把持力：500[g]

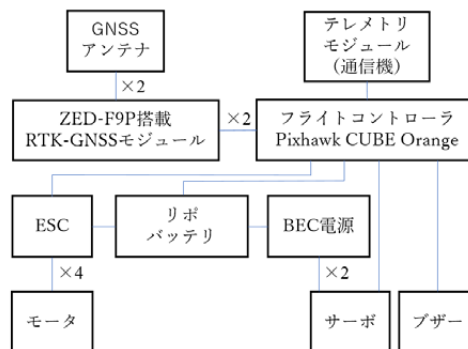


図 4 システム構成図

4. RTK 測位システム

大会の自律走行ミッションでは、操作者は機体

にスタート信号を送ると、その後は何もすることができない。そのため、機体は自己位置推定を行いつつ走行することになる。自己位置推定する方法はいくつかあるが、本制御システムでは、RTK「Real Time Kinematic」測位システム(以下、「RTK」と呼ぶ)を採用している。

一般的なGPS測位は、測定誤差が5~10[m]であるのに対し、RTK測位は、全地球航法衛星システムGNSS「Global Navigation Satellite System」を使った自己位置推定方法の中で、[cm]単位の測定誤差にできる特徴がある。RTKは、移動するGNSS受信機「移動局」と、事前に位置の分かっているGNSS受信機「基準局」の2つの観測データを使って、高い精度の測位をリアルタイム³⁾で行う。

5. 機体の特徴

大会の各ミッションをクリアするため、自己位置推定用のGNSS測位アンテナを2個搭載し、それぞれのアンテナを30[cm]程度離すことで自己方位を導き出している。また、カメラとロボットハンドを搭載することで資材運搬を可能にしている。砂地を制御信号通りに走行できるようにタイヤには特殊トレッドパターンを配置し、弾性変形可能素材と構造を活用した。図5に機体「ケンタウロス」を示し、具体的な特徴を①から④に記す。

① GNSS測位アンテナ

位置(座標)が分かっている基準局で観測した位相データをロボット(移動局)へ送信して自己位置座標の推定を行う。

② 全方位位置センサ

自律走行に必要な自己位置方位推定は、GNSSを活用することにより行う。精度を向上させるためには、2つのGNSS測位アンテナを可能な範囲で離す必要があるが、大会規約で大きさを制限されているため本システムでは、最低限の300[mm]程度離している。

③ タイヤ

タイヤのトレッドパターンは、砂地でもスムーズに走れるように凹凸をつけている。素材にはTPU樹脂材を使い、ハニカム構造を作ることによって弾性変形させ衝撃を軽減させるとともに傾斜

面においても滑りが発生しないように設計している。

④ ロボットハンド

資材運搬ミッションでフィールドに設置してある70[mm]角のスタイラスフォームを運ぶ必要があるため、関節を2つ使い、幅100[mm]質量500[g]の物を持ち上げることができる。

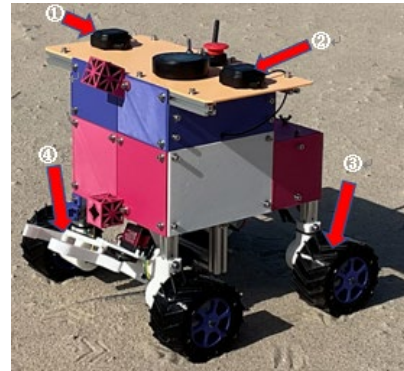


図5 機体(ケンタウロス)

6. 実験

実験は、江津市近郊の波子海水浴場の砂地で行った。具体的には、平坦な砂地走行実験から始まり20°の登坂性能実験、ハンド把持走行実験、ARマーカー取得実験、RTKによる自律走行実験などである。実験結果としては、RTKによる自律走行実験以外は、特段の問題はなかった。RTKによる自律走行実験では、実験を繰り返す中でポイントの取り方によって誤差が生まれることが判明した。実験を始めた当初は、方向転換する時にポイントを指示していた。その結果、図6のようにポイントの間隔が広い所では誤差が2~3[m]と多くなることがわかった。方向転換に限らずポイントは、1[m]単位ごとに指示した場合、誤差が少ないことが証明できた。また、基地局との距離が離れるほど誤差が生じやすく、最大10[km]以上離れるとシステム自体不安定になることもわかった。天候が誤差に及ぼす影響を調べた際は、晴天時よりも曇天時の場合、GNSS衛星を捕らえられる数が減少するため精度が悪くなることが判明した。これらのことを理解した上で、大会までに移動誤差が数[cm]レベルになるまで調整を行った。

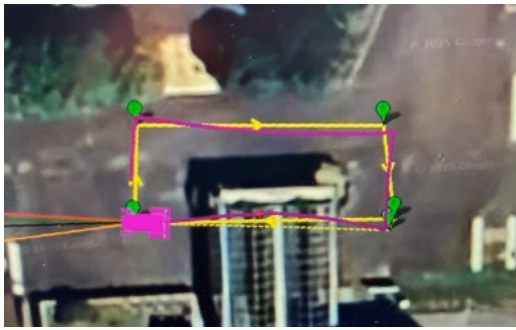


図6 RTKによるポイントの取り方と誤差

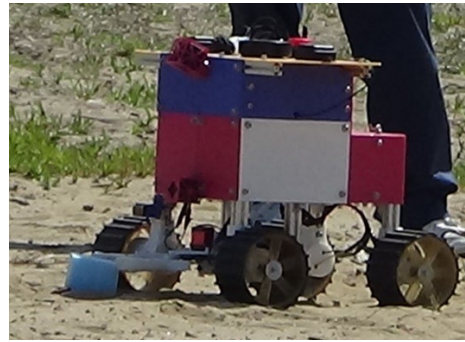


図7 無人建設ミッションの様子

7. Tottori Rover Challenge 2025

大会は、令和7年3月22日に鳥取砂丘月面実証フィールド「ルナテラス」において開催された。私たちは、エントリー部門に出場し、他4チームと競うことになった。エントリー部門は、予選と決勝がある。予選は、【自律走行ミッション】と【無人建設ミッション】の2つのミッションを選ぶことにした。各ミッションでは、競技中の競技者による会場を目視することは禁止されている。また、競技中は機体に触れることはできない規則となっている。【自律走行ミッション】では、事前にゴールの緯度経度が公開されており、競技前に走行ルートを作成し機体に送信した。競技が開始されると機体は、右側のタイヤのみ回転しスタックしてしまった。機体から送信されているデータを見たところ、走行ルートのスタート点と次点が近すぎたため、機体が回転しスタックしたものと考えられる。【無人建設ミッション】では、カメラの画面を見ながら資材であるスタイラスフォームを探し、ゴール地点まで運ぶ競技である。私たちの機体は、図7のように運搬物を見つけ運ぶところまでは順調であったが、ゴール地点に向かう際、砂に埋もれている10[kg]の鉄球に乗り上げてしまい身動きが取れなくなってしまい棄権することになった。私たちは、予選で3位となり決勝の【探査総合ミッション】に進むこととなった。決勝では、各チームは、スタート位置と最初のARマーカー位置が指示される。競技開始後に指定されたARマーカーを読み込むことでゴール位置を推定した。私たちは、推定したゴール地点との距離が63[cm]で準優勝となった。

8. おわりに

大会に出場するにあたり、江津市近郊における海岸の砂地と大会当日のルナテラスでは、同じ日本海に面しているが砂の性質が異なっていたように感じた。鳥取県が公表しているデータでは、鳥取砂丘と月面レゴリスの粒度分布や化学成分などは概ね似たような性質であることが確認されている⁴⁾。大会での機体の動きなどを見ると明らかにタイヤが滑り、江津市近郊の砂地で実験した時とは動きが異なっていた。今後は、鳥取砂丘走行時でも滑りを最小限にできるようなタイヤの製作に取り組んでいく。

文献

- 1) Tottori Rover Challenge 2025 大会要項, p.1,
- 2) 産業未来創造課.”宇宙産業創出・鳥取砂丘月面化プロジェクト”.鳥取県.2025.
<https://www.pref.tottori.lg.jp/297170.htm>,
(参照 2025-06-06)
- 3) bizstation Drogger RTK ガイド.
Hatenablog.2021.https://drogger.hatenadiary.jp/entry/RTK_GUIDE, (参照 2025-06-06)
- 4) amulapo.”月面模擬実証フィールド構築に向けた鳥取砂丘のデジタルデータ化プロジェクト成果報告”.鳥取県.2023.
<https://www.pref.tottori.lg.jp/secure/1327945/2sakyu-getsumenka-data-reserch2306.pdf>, (参照 2025-06-17)

著者 E-mail Ueta.Junichi@jeed.go.jp