

令和 4 年度地球観測技術等調査研究委託事業
「月火星箱庭教育プログラムによる宇宙情報系人材の育
成基盤構築」
委託業務成果報告書

令和 5 年 5 月
公立大学法人 会津大学

本報告書は、文部科学省の地球観測技術等調査研究
委託事業による委託業務として、公立大学法人会津
大学が実施した令和4年度「月火星箱庭教育プログラ
ムによる宇宙情報系人材の育成基盤構築」の成果を
取りまとめたものです。

目次

1	はじめに.....	1
1.1	委託業務の目的.....	1
1.2	業務の方法.....	1
1.3	当該年度における委託業務の結果概要.....	1
2	実施内容.....	3
2.1	①リアル箱庭試作(福島 RTF ローバ実機評価システム試作).....	3
2.1.1	a)ローバ模擬機体と搭載 LIDAR+カメラによる自己位置データの取得.....	3
2.1.2	b)ローバ実機の走行(位置や姿勢等)を外部装置で計測するシステムの作成.....	4
2.2	②バーチャル箱庭基幹部実装.....	5
2.2.1	a)ローバ仮想モデルの物理パラメータ検討.....	5
2.2.2	b)バーチャル箱庭の基幹部実装.....	7
2.3	③『月火星箱庭教育プログラム』試用.....	12
3	まとめ.....	31
4	添付資料.....	32

1 はじめに

1.1 委託業務の目的

月・火星表面等での活発な探査や有人活動に備え、ハードウェア(HW)を理解した上で最新の SLAM*技術や AI 技術等ソフトウェア(SW)技術を習得した、宇宙開発を情報分野で担う人材の育成を目指す。この目的のため情報系の会津大学と JAXA の宇宙科学研究所が連携し、情報系・宇宙分野横断の『月火星箱庭教育プログラム』を立ち上げる。具体的には、リアル箱庭(福島ロボットテストフィールド(RTF))でのローバ実機の走行・地形等周辺データ取得実習、バーチャル箱庭でのローバ走行シミュレーション、SLAM 技術・AI 技術によるデータマッピング等の学習・実習を行う。本プログラムは宇宙企業や一般に開放して実施することで、教育のみならずローバ等宇宙機の開発にも役立て、企業と大学との共同研究や人事交流機会の創出を図り、人材育成の基盤を構築する。

*SLAM: Simultaneous Localization and Mapping(ロボットの自己位置推定と地形図生成を同時に行う技術)

1.2 業務の方法

令和4年度における実施内容は、以下の通りである。

『月火星箱庭教育プログラム』を構成する月火星箱庭システムの主幹部分を作成し、年度後半に箱庭実習会、関連勉強会を実施する。

①リアル箱庭試作(福島 RTF ローバ実機評価システム試作):初年度は会津大学が学内ロボット研究者、研究協力機関の宇宙科学研究所と議論の上、a)ローバ模擬機体作成と搭載 LIDAR+カメラによる自己位置データの取得、b)ローバ実機の走行(位置や姿勢等)を外部装置で計測するシステムの作成を行う。

②バーチャル箱庭基幹部実装:a)ローバ仮想モデルの物理パラメータ検討をトヨタテクニカルディベロップメント(株)が実施し、並行して b)(株)東日本計算センターがバーチャル箱庭の基幹部実装を進める。ローバモデル、実機データの取り込み、ローバ走行シミュレーション機能を持つ初期バージョンをリリースするとともに、箱庭システムは総合的なロボットシミュレータの 1 つであるコレオノイドをベースに、一般に公開することを前提として作成する。

③『月火星箱庭教育プログラム』試用:宇宙科学研究所と連携してリアル/バーチャル箱庭を組み合わせることを想定した教育プログラムを構成し、会津大の大学院集中講義科目で試用する(夏期科目のため、初年度は事業に先行して模擬データで実施)。また、年度末に開催する箱庭実習会と関連勉強会において利用し、次年度に向けた教育プログラムとしての改善点フィードバックを得る。教育プログラムの HW 面では宇宙機模擬機体の制御・評価を実習する。

1.3 当該年度における委託業務の結果概要

令和4年度における業務の結果概要は、以下の通りである。

『月火星箱庭教育プログラム』を構成する月火星箱庭システムの主幹部分を作成し、年度後半に箱庭実習会、関連勉強会を実施した。

- ① リアル箱庭試作(福島 RTF ローバ実機評価システム試作): 初年度は会津大学が学内ロボット研究者、研究協力機関の宇宙科学研究所と議論の上、a)ローバ模擬機体と搭載 LIDAR+カメラによる自己位置データの取得、b)ローバ実機の走行(位置や姿勢等)を外部装置で計測するシステムの作成を行った。ただし a)においてローバ模擬機体を作成する代わりに、会津大が別途作成した同等機能を持つ機体を利用して、搭載 LIDAR+カメラによる自己位置データの取得を実施した。
- ② バーチャル箱庭基幹部実装: a)ローバ仮想モデルの物理パラメータ検討をトヨタテクニカルディベロップメント(株)が実施し、並行して b)(株)東日本計算センターがバーチャル箱庭の基幹部実装を進めた。ローバモデル、実機データの取り込み、ローバ走行シミュレーション機能を持つ初期バージョンをリリースするとともに、箱庭システムは総合的なロボットシミュレータの 1 つであるコレオノイドをベースに、一般に公開することを前提として作成した。
- ③ 『月火星箱庭教育プログラム』試用: 宇宙科学研究所と連携してリアル/バーチャル箱庭を組み合わせることを想定した教育プログラムを構成し、会津大の大学院集中講義科目で試用した。なお当初夏期に模擬データで実施する計画をしていたが、代わりに模擬データで無く実データを用いて 2 月に実施した。また、年度末に開催する箱庭実習会と関連勉強会において利用し、次年度に向けた教育プログラムとしての改善点フィードバックを得た。教育プログラムの HW 面では宇宙機模擬機体の制御・評価を実習した。

2 実施内容

『月火星箱庭教育プログラム』を構成する月火星箱庭システムの主幹部分を作成し、年度後半に箱庭実習会、関連勉強会を実施した。

2.1 ①リアル箱庭試作(福島 RTF ローバ実機評価システム試作)

初年度は会津大学が学内ロボット研究者、研究協力機関の宇宙科学研究所と議論の上、a) ローバ模擬機体と搭載 LIDAR+カメラによる自己位置データの取得、b)ローバ実機の走行(位置や姿勢等)を外部装置で計測するシステムの作成を行った。本項目に関する関係者による打ち合わせ実績は、表 1 参照。以下に実施成果詳細を示す。

表1 リアル箱庭試作関連打ち合わせ実績
(2022/10/1～2023/3/31) 計12回

2022					
10	11	12	1	2	3
▲▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲▲

2.1.1 a)ローバ模擬機体と搭載 LIDAR+カメラによる自己位置データの取得

学内ロボット研究者や宇宙科学研究所の研究者らと、本事業で使用するローバ模擬機体の仕様に関する議論を行い、初年度はローバ模擬機体を作成する代わりに、会津大学が本委託事業外で作成する同等機能を持つ機体を、本事業でも利用し、目的としていたローバ搭載 LIDAR+カメラによる自己位置データの取得を実施した。

＜ローバ模擬機体を作成する代わりに別機体を本事業で利用した理由＞

本事業で実施したローバ模擬機体の作成に向けた仕様の検討、および部材準備の中で、以下のことが明らかとなった。

i)納期の課題

ローバに搭載する測定器である LIDAR(レーザにより周囲の測距を行い、点群を作成するための計測器)が、半導体部材の不足など影響から、事業開始当初の想定よりも、納入に時間がかかることがわかった。そのため、年度後半に実施予定の会津大学の PBL 授業で利用することを考慮すると、授業の実施までに十分な余裕を持って作成することが困難となる可能性があることがわかった。

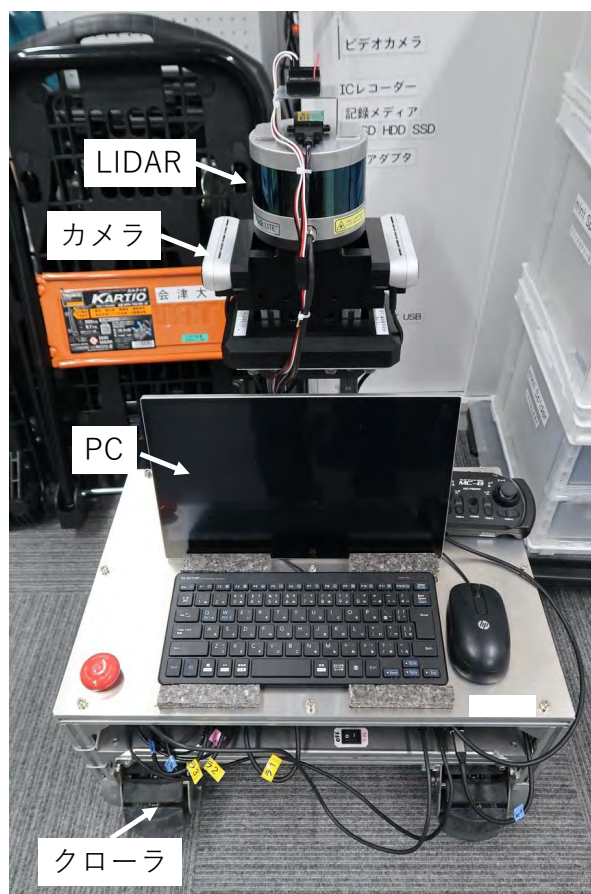


図1 本事業で用いたロボット機体

ii)代替機の開発スケジュール

学内の本委託事業参画者が、他の事業において同等の機能を持つロボットを開発中であることから、開発スケジュールを調整することにより、該当の機体を本事業に利用可能となることが確認できた。

上記の理由から、会津大学が別途作成する同等機能を持つ機体を、本事業でも利用することとした。

該当のロボット機体の写真を図 1、同機体の走行試験風景を図 2 に示す。クローラタイプの走行システムを採用することで、地面に数 cm 程度のタイヤ跡などある状況(図 2 左)においても、問題なく走行することができる。また、不整地かつ傾斜がある場合にも走行できることが確認できた。



図2 本事業で用いたロボット機体（屋外での試験走行風景）
屋外の不整地での走破性能（左）と傾斜地での走破性能（右）を確認した

本事業で用いたロボット機体に搭載した LIDAR、およびカメラを用いて取得したデータをもとに点、群データ等を作成しており、これらについては 2.3 項月火星箱庭教育プログラムの項へ掲載する(該当の項では、会津大学の PBL 授業の中で参加学生が取得したデータの例として掲載)。

2.1.2 b)ローバ実機の走行(位置や姿勢等)を外部装置で計測するシステムの作成

福島ロボットテストフィールドにおいて、図 1 で示したロボット機体を用いて走行させながら、その移動状態(位置や姿勢)を、外部から、LIDAR を用いて独立に計測するための計測システムを作成した(図 3; PC や LIDAR パーツ等は写真撮影の時点では仮置き)。

2.2 ②バーチャル箱庭基幹部実装

a)ローバ仮想モデルの物理パラメータ検討をトヨタテクニカルディベロップメント(株)が実施し、並行して b)(株)東日本計算センターがバーチャル箱庭の基幹部実装を進めた。ローバモデル、実機データの取り込み、ローバ走行シミュレーション機能を持つ初期バージョンをリリースするとともに、箱庭システムは総合的なロボットシミュレータの1つであるコレオノイドをベースに、一般に公開することを前提として作成した。本項目に関する関係者による打ち合わせ実績は、表 2 参照。会津大学内での打ち合わせ、会津大学と再委託先 2 社それぞれとの個別打ち合わせ、3 社同時の打ち合わせなど種類によらず、同日に行われた打ち合わせは 1 回とカウントした。以下に実施成果詳細を示す。

表2バーチャル箱庭基幹部実装関連打ち合わせ実績
(2022/10/1～2023/3/31) 計16回

2022					
10	11	12	1	2	3
▲▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲▲

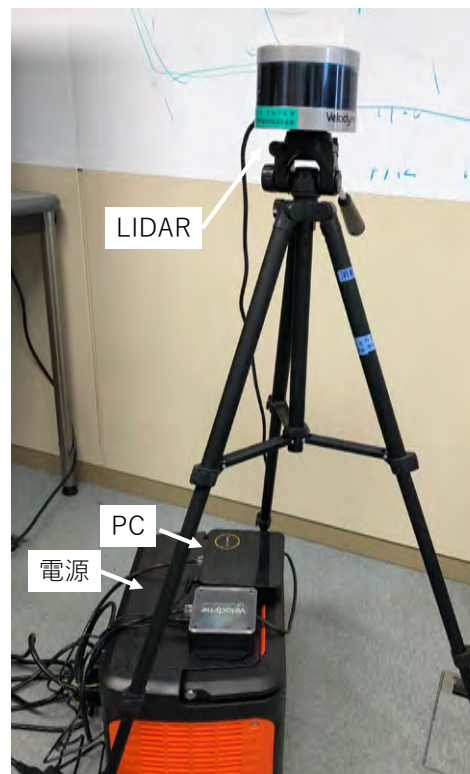


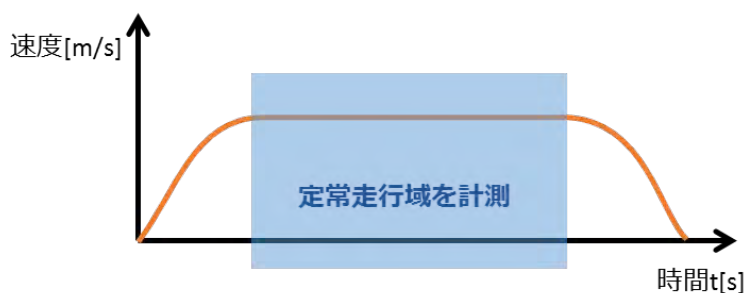
図3ローバ実機の走行（位置や姿勢等）状態計測システム

2.2.1 a)ローバ仮想モデルの物理パラメータ検討

会津大学と再委託先であるトヨタテクニカルディベロップメント(株)、(株)東日本計算センターの間での議論・検討に基づき、(株)東日本計算センターが開発するシミュレータの中で再現する、ローバの走行時の月面抵抗値などの物理パラメータを、どのような値に設定するのが適切か、また物理パラメータをどのようにシミュレータに組み込むのが最適なのかを、トヨタテクニカルディベロップメント(株)が検討した。

通常の車両の走行抵抗（空気抵抗、加速抵抗、転がり抵抗）のうち、月面では空気密度が地上の 100 兆分の 1 となり無視できるため、地球と月とで異なる抵抗は、重力加速度が影響する『転がり抵抗』である。

ローバ模擬機体は、バーチャル箱庭内部でリモートコントローラにて走行させる。そのため、リモートコントローラの指示値により、走行速度が決定される。従って、リモートコントローラの指示に対して、ローバのクローラの回転速度 ω を算出するパラメータ（以下「変換テーブル」）を作成した。バーチャル箱庭に、この算出された変換テーブルを組み込むことにより、地球上と月面上での走行速度を実現させる。



- ・前進指示100%の走行
- ・後退指示100%の走行



図4 変換テーブル作成時の計測領域

変換テーブルは定常走行域(図 4)を計測し、クローラの回転速度を算出した。

一方、転がり抵抗は月面と地上とでは重力加速度の違いが影響する。重力加速度の違いを考慮するため、今回利用するロボット機体のクローラ部への積載物重量を変動(図 5)させた上で、ロボット機体の総重量を月面での重量に換算し、転がり抵抗を算出した(図 6、図 7)。

具体的には 3 種類の総重量のケースにおいて、試験ロボット(クローラ部)を同一距離走行させ、走行にかかった時間を複数回計測し、平均速度を求める実験を行った。これを試験ロボットの前進、後退の両方について実施し、得られた結果をもとに、総重量と速度の関係を最小二乗法で近似式を導出した。

次に、得られた近似式に対して、今回利用するロボット実機体の地球上での総重量を代入して、地球上での前進速度、後退速度を求める。さらに得られた前進・後退速度からクローラの回転速度 ω を算出した。一方、月面では重力加速度が地球の $1/6$ 倍のため、総重量は地球の $1/6$ 倍となるので、得られた近似式から月面上での総重量の条件における前進速度・後退速度を求めた。このようにして得られた回転速度を変換テーブルとしてバーチャル箱庭に組み込んだ。この組み込みにより、同じローバ機体であっても、地球表面と月表面での走行速度に差異を出すことができた。



地上テーブル



月面テーブル

変換テーブル作成時の重量イメージ

図5 地球上のテーブル作成時(左)と月面上のテーブル作成時(右)

総重量
地上時の $1/6$ に換算

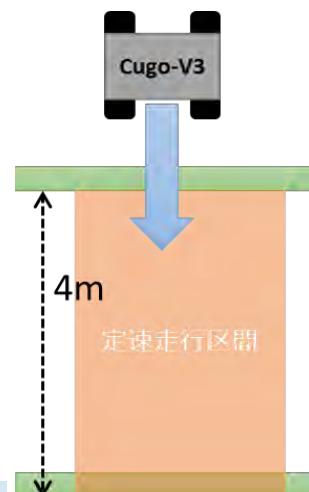


図6 走行実験イメージ



図7 走行実験時のコンフィグレーション

カメラをクローラ部に搭載し、走行区間端にテープを貼った床面を撮影し、カメラ画像の時刻からテープ通過時刻を求めた。

2.2.2 b)バーチャル箱庭の基幹部実装

会津大学と再委託先であるトヨタテクニカルディベロップメント(株)、(株)東日本計算センターの間での議論・検討に基づき、(株)東日本計算センターがバーチャル箱庭の基幹部の設計、および実装を進めた。

成果として、i)ローバモデル、ii)実機データ(LIDAR により取得した点群データ)のバーチャル箱庭(シミュレータ)への取り込み、iii)ローバ走行シミュレーション機能を持つ初期バージョンをリリースした。今回開発する箱庭システムは、総合的なロボットシミュレータの1つであるコレオノイドをベースにしており、一般に公開することを前提として作成した。作成したバーチャル箱庭を地球表面と月表面それぞれの条件で動作させ、条件の違いによるローバの挙動が比較ができるようにするため、2 台の計算機を準備して該当のシステムのインストールを行った。

操作員が Choreonoid 上のバーチャル箱庭システムにおいてゲームコントローラ(DUALSHOCK4)を用いてローバを操縦する

また、シミュレーション開始から終了までの動作記録、干渉状態、移動軌跡、動摩擦力を保存する。

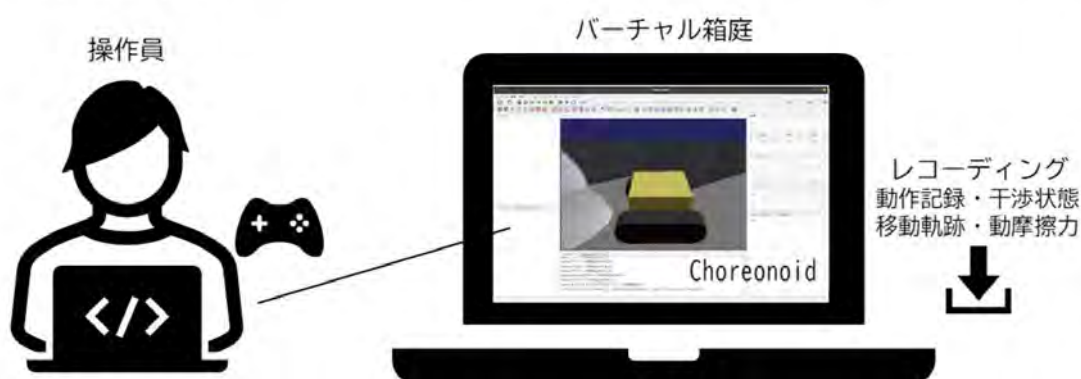


図8 バーチャル箱庭の動作イメージ

図8にバーチャル箱庭の動作イメージを示す。操作者は計算機内に再現された空間(シミュレータ空間)内で、再現されたローバをコントローラの操作により走行させる。バーチャル箱庭は、iii)ローバ走行シミュレーション機能として、シミュレータ内での走行時の動作(時刻・位置・姿勢等)を記録、干渉状態の検知、移動軌跡の記録・表示、走行路の動摩擦力の計算・表示の各機能を有する。なお、リアル箱庭(実空間すなわち地球上)での実ローバの走行と月面におけるローバの走行を比較可能とするため、バーチャル箱庭は、地球表面と月面の両空間を、プロジェクトの切り替えにより再現可能な仕様としている。

なお令和4年度は、バーチャル箱庭の基幹部を実装するため、箱庭内の地形として本事業で実施するPBL授業(2.3項)で使用する、福島ロボットテストフィールドの瓦礫・土砂崩落フィールド内にある土砂傾斜エリア(赤枠エリア:図9)の地形を再現した。地形は設計図面から再現した。



図9 福島ロボットテストフィールドエリア全体図および瓦礫・土砂崩落フィールドと今回バーチャル箱庭内に再現した地形（赤枠）
 (フィールドのイラストおよび写真は福島ロボットテストフィールドwebページより：<https://www.fipo.or.jp/robot/facility>)

図 10 に作成したバーチャル箱庭のプロジェクト立ち上げ後の初期表示画面を示す。メインウィンドウ画面の中に青色に見えるのがバーチャル空間内に再現されたローバ機体(詳細は後述)。ローバ機体の奥に斜面が再現されており、左側斜面が 15 度の傾斜面で右側が 30 度傾斜面に対応。各面の色は実際の写真から貼り付けている。1m 間隔でグリッド線を表示している(白線)。

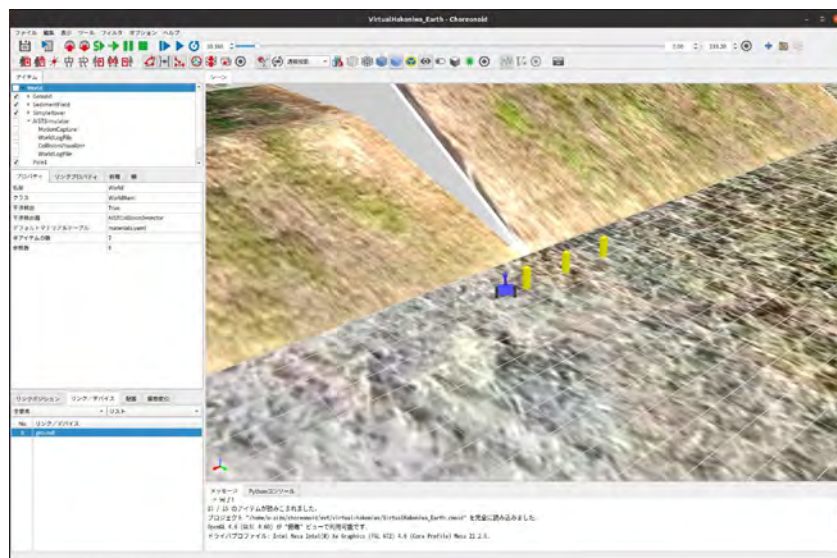


図10 バーチャル箱庭のプロジェクト立ち上げ後の初期表示画面
 メインウィンドウに地形とローバが再現されており、画面上部にメニューバーと操作アイコン、メインウィンドウの左に各種設定に関するウィンドウが配置される。

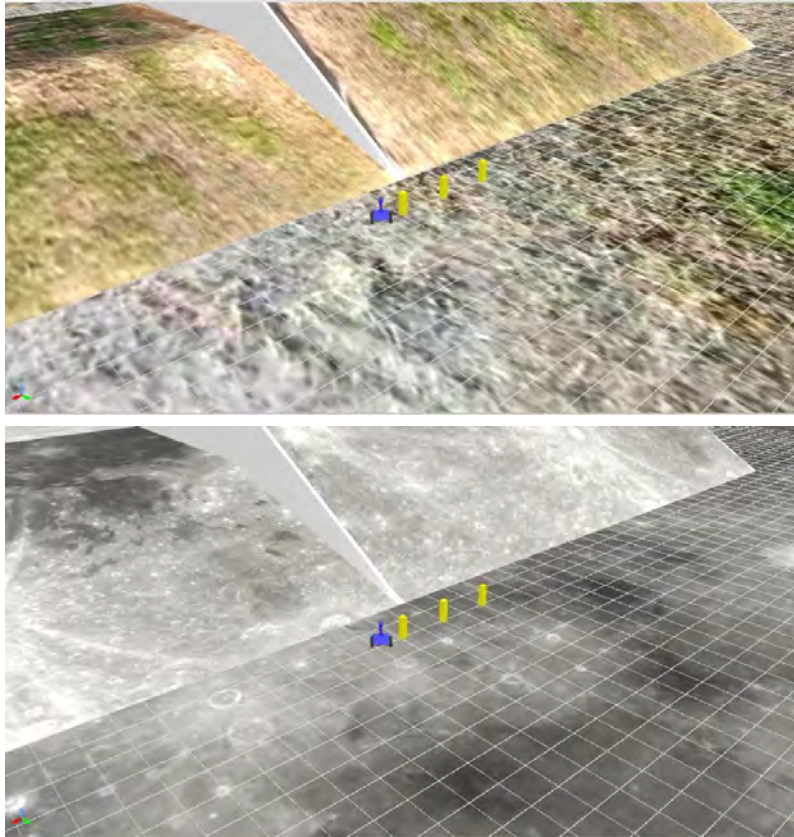


図11 バーチャル箱庭内に再現された地形
地球表面（上）と月面（下）

図 11 はバーチャル箱庭に再現された地球表面と月面。どちらも地形は同じ(福島ロボットテストフィールドの瓦礫・土砂崩落フィールド内にある土砂傾斜エリア)であるが、重力加速度がそれぞれ正確に再現されている。実際の月面では重力加速度が地球の $1/6$ であることから、バーチャル箱庭内の月面モデルにおいても、重力加速度を地球の $1/6$ としていることで、ローバを走行させた場合の挙動がそれにより異なる。月面の画像は、今回は実際のスケールを再現しておらず、仮の画像を利用している。表面の画像(テクスチャ)はユーザーが適宜変更可能。

i)ローバモデルの作成

ローバ実機の機体のサイズ・質量等情報をもとに、同機体の形状や質量を模擬したローバ機体をバーチャル箱庭内に作成した。重心は赤い点で示され、今回は簡易的に外形の形状中心に設定した。バーチャル箱庭内では太陽光も模擬されており、ローバ機体の影が確認できる(図 12)。

ii)実機データ(LIDARにより取得した点群データ)のバーチャル箱庭(シミュレータ)への取り込み

実空間内で LIDAR により取得した点群データと、バーチャル空間内でのローバの移動軌跡を記録する機能と組み合わせて、両者を同時に表示し、比較することを可能としている(図は 2.3 項で示す)。

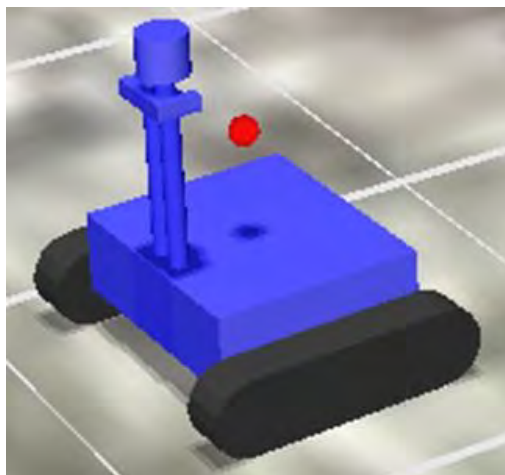


図12 ローバ機体（実機）（左）とバーチャル箱庭（シミュレータ）内に再現した模擬したローバ機体（右）

模擬ローバ機体はシンプルな外観ながら、クローラ部の形状、本体部（計算機の載る台の部分）、LIDARが搭載されたマスト部、LIDAR本体の各サイズと全体質量が再現されており、シミュレータ内で物理法則に則った挙動をする。図の赤い点は重心。

iii)ローバ走行シミュレーション機能

本機能は以下の各機能から構成される。

- 1) 走行時の動作の記録
- 2) 干渉状態の検知
- 3) 移動軌跡の記録・表示
- 4) 走行路の動摩擦力の計算・表示

1) 走行時の動作の記録

コレオノイドの機能を使って、ローバ走行のシミュレーションの開始・一時停止・終了をツールバーのボタンもしくはコントローラボタンの操作で実行可能。また、実行したシミュレーション動作はログに保存されており、ログから該当のシミュレーションを選んで再生が可能。

2) 干渉状態の検知

バーチャル箱庭内のローバ機体（シャシーおよびシャシーに搭載された LIDAR およびカメラ）は、フィールドオブジェクト（図 11 に黄色い角柱として示されたオブジェクトであり、任意に作成して設置が可能）と干渉したかどうかを判定させることができ、干渉した場合にはローバ機体を青から赤に変化させ、表示させる（図 9）。これにより、ローバの表面物体との接触の有無判定を行うことができる（今後、ローバの障害物回避の精度評価等に利用することを想定）。また、干渉した時刻のデータと干渉した部位の情報は、干渉ファイルとして、ユーザーの操作により保存が可能。

フィールドオブジェクトもローバ機体と同様に物理的に動作が再現されるため、例えば図 13 右側のような状態で、ローバと角柱が接触した状態でローバを前進させ続けると、角柱は倒れる。

3) 移動軌跡の記録・表示

ローバの移動軌跡を表示、ファイル保存することが可能。軌跡はシミュレーションの実行中は表示されず、シミュレーションの停止後に表示される(図 14)。プロジェクトを一旦閉じるとバーチャル箱庭上で再表示することはできない。ただし、移動軌跡データはPCD(point cloud data)フォーマットで自動保存されるため、PCDの可視化ソフトウェア等を使用して該当のPCDファイルを表示することが可能。移動軌跡は点群として保存されるので、表示上は線に見えているが、実際には点の集合体。この点を、ある程度間引いたものを表示させている。

注意点: 使用する計算機の性能に応じて、シミュレーションの実行時間が長い場合は、バーチャル箱庭内での移動軌跡の表示に時間がかかる場合があるので注意が必要。なお、異動軌跡の色や太さ、ローバの色等は設定により変更が可能。

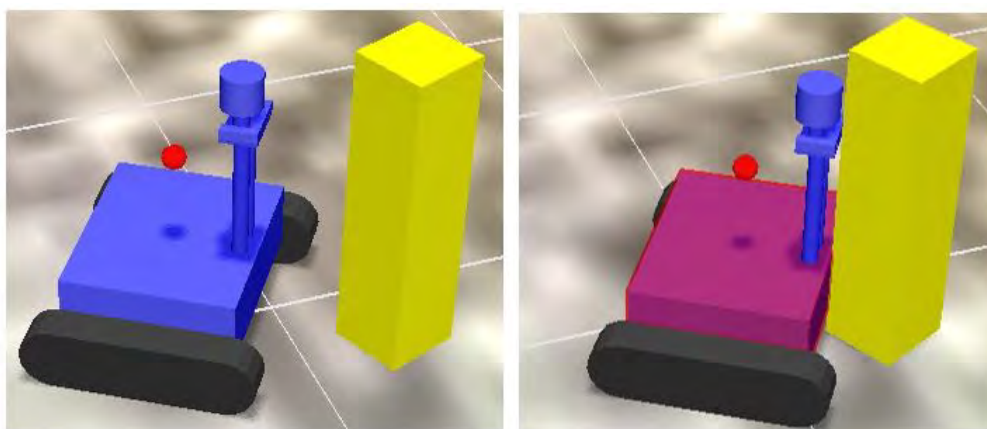


図13 干渉時の表示例 (左: 非干渉、右: 干渉)

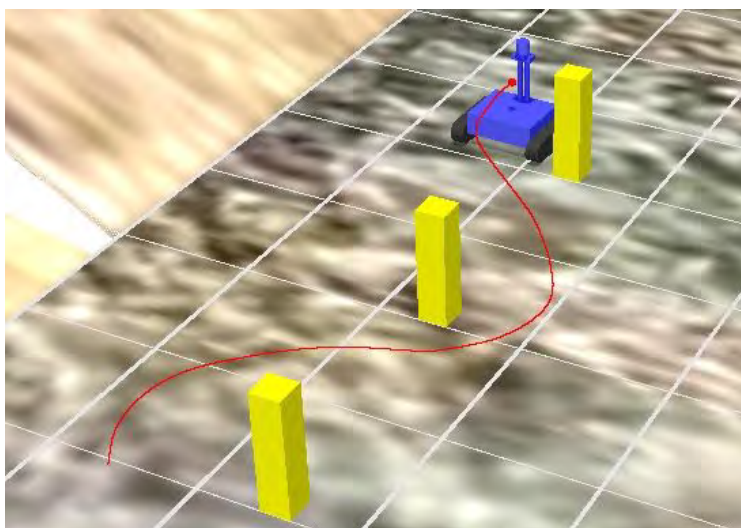


図14 移動軌跡の表示例

4) 走行路の動摩擦力の計算・表示

ロボットと地表間に生じる摩擦力は、設定された重力加速度および摩擦係数に応じて、常時自動で計算・表示、記録される。摩擦力はベクトルで表現され、向き、大きさ、発生位置が示される。また、摩擦力データは CSV フォーマットとして時間経過情報と共に保存される(図 15)。保存間隔は 0.2 秒としている。

なお、摩擦力のライン表示はバーチャル箱庭でのシミュレーション中、常に表示されているが、通常は地表オブジェクト等が表示されているために隠れており、確認することができない。摩擦力のベクトルを確認するには、バーチャル箱庭の左側ウィンドウのアイテム一覧から、表示されているオブジェクトを適宜非表示にするよう設定する必要がある。また、クローラの下面を見るように視点を調整するなど必要。傾斜面上にローバがある状態で、斜面を非表示にした場合の摩擦力のベクトルの表示例を図 16 に示す。

```
2023-01-25-10-15-2615233,-5.93315,-0.743683,0.59733,0.155386,
```

図15 摩擦力データファイル出力例



図16 傾斜面を非表示に設定し、クローラの下面から見た状態の摩擦力のベクトル表示 白いラインが摩擦力

なお、各プロジェクトにおいてユーザーが設定により地表面の摩擦係数を変更することが可能。これにより、表面土壌の摩擦力の違いによるローバ走行特性の変化や、地球と月面での重力加速度の違いによる特性の変化を模擬・評価することが可能。

2.3 ③『月火星箱庭教育プログラム』試用

宇宙科学研究所と連携してリアル/バーチャル箱庭を組み合わせることを想定した教育プログラムを構成し、会津大学の大学院集中講義科目で試用した(夏期科目にて模擬データで実施する代わりに、実データを用いて 2 月に実施)。また、年度末に開催する箱庭実習会と関連勉強会において利用し、次年度に向けた教育プログラムとしての改善点フィードバックを得た。教育プログラムの HW 面では宇宙機模擬機体の制御・評価を実習した。

本項目に関する関係者による作業実績は、下記参照(本項目に関連した打ち合わせは2.1の打ち合わせの一部として議論した他、メール等でも議論を実施したため、ここでは 2.3 項に直接関わる実作業の日数のみカウント)。以下に実施成果詳細を示す。

『月火星箱庭教育プログラム』試用関連作業実績(2022/10/1～2023/3/31)計 8 日

2022/10/7: 月火星箱庭教育プログラム実施のための福島ロボットテストフィールド視察

2023/2/7: 大学院集中講義科目の座学(1 日目)

2023/2/8: 大学院集中講義科目の座学(2 日目)

2023/2/13: 大学院集中講義科目の実習下準備

2023/2/16: 大学院集中講義科目の実習(1 日目)

2023/2/17: 大学院集中講義科目の実習(2 日目)

2023/2/20: 大学院集中講義科目の実習成果発表会

2023/3/24: 一般研究者・産業界に向けた箱庭実習会と関連勉強会

i) 大学院集中講義科目で試用したことによる成果

大学院集中講義科目の実施スケジュールとコマ数、担当者を以下に示す。

該当の科目実施により、教育プログラムとしての改善点フィードバックを得ると共に、教育プログラムの HW 面では宇宙機模擬機体の制御・評価を実習した。

該当の科目への参加者は学生 8 名(座学のみ参加となった学生も含む)

座学(1 日目):

2/7(Tue) Lecture@UoA 1-8th period

1-2 Designing and Developing Space Probe 宇宙機一般 担当: 大竹真紀子(In-person)

- ・参加者の自己紹介/授業の目的・概要/授業前理解度アンケート
- ・宇宙探査に必要なシステム構成/衛星システム概要
- ・宇宙機に搭載される観測機器/日本の探査ミッション例

3-4 Data in Exploration Programs 探査データ 担当: 小川佳子(In-person)

- ・宇宙探査により得られるデータの構成・入手方法
- ・具体的な解析例(解析演習)

5-6 Path-finding 経路計画 担当: 本田親寿(In-person)

- ・経路計画に有効なアルゴリズム
- ・経路計画演習

7-8 SLAM 技術 担当: 山田竜平(Virtual)

- ・SLAM 技術とは
- ・SLAM 技術例題

座学(2 日目):

2/8(Wed) Lecture@UoA 1-6th period

・ローバ技術全般 担当: JAXA 吉光徹雄(Virtual)

実習(2日間):

2/16-17(Thu-Fri) @RTF(南相馬市)

1日目:

- ・朝、バスで会津若松市から移動
- ・昼ごろ RTF 到着
- ・午後から実習に向けた座学および実習の準備

2日目:

- ・朝から実習(実ロボット機体を用いたデータ取得)
各自、実ロボットを用いた走行データを自分で取得し、解析に用いる。交代でデータを取得した。
- ・午後、取得データのデータ解析およびバーチャル箱庭でのローバ走行実習
- ・撤収作業
- ・バスで会津若松に移動、解散

2/20 (Mon) 1-4 period 成果レポート発表会@会津大学

座学および実習会の風景を下に示す。



座学1日目の風景: 担当 大竹真紀子

今回の教育プログラムの目的や、授業内容の概要、タイムテーブル等を説明した後、座学の中身に入る前に、科目受講前の受講生の、本分野に対する理解度を把握するためのコンセプトマップの作成に進んだ(コンセプトマップについては後述)。

座学は、宇宙探査に必要なシステムの構成や衛星システム(宇宙機)の概要、宇宙機に搭載される観測機器、日本の過去および今後行われる予定の探査ミッション例など、ローバを用いた月や火星表面での探査を支える各システムを理解するとともに、ローバ探査の目的や運用のイメージを実際の探査例から把握するための内容を実施した。



座学 1 日目の風景：担当 小川佳子

宇宙探査により得られる観測データの種類、構成やデータの入手方法の紹介、入手したデータを用いた具体的な解析例（火星探査機のローバにより取得したデータの解析など）を紹介し、解析演習を行なった。



座学 1 日目の風景：担当 本田親寿

ローバの経路計画の立案に有効なアルゴリズムの紹介や、実際の月面データを用いた具体的な例題による経路計画演習を行なった。



座学 2 日目の風景：担当：JAXA 吉光徹雄 (virtual)

探査機に搭載されるローバの構成や制御方法、実際の探査例など、ローバに関する技術を広くカバーする内容を実施した。



実習前に実施したローバの動作確認および準備風景：

左上：福島ロボットテストフィールド屋外での実ローバの動作エリア・ルート検討

左下：屋内での実ローバ動作確認

右上：屋内での実ローバ動作の様子（ローバ後方からの図）

右下：屋内での実ローバ動作の様子（ローバ前方からの図）

会津大学の座学担当教員に加え、再委託先の業務担当者らが福島ロボットテストフィールドに集まり、実空間およびバーチャル箱庭両方でのローバの動作確認や、実習手順等の確認を行なった。当日は雨天のため、実ローバの動作は屋内で実施。雨天の場合は走行路の路面状況が悪く、屋外での実習が困難であることを確認し、雨天の場合に備えて屋内の走行経路も検討した。ローバ搭載のカメラ画像と、取得した LIDAR データがリアルタイムで処理されることを確認した（右上）。バーチャル箱庭の動作確認では、コントローラや表示画面の見やすさや使用感等を含めて確認し、各設定に反映した。



実習会当日のバス移動風景：

実習当日は2日間とも快晴となり、良いコンディションで実習が可能であった。



福島ロボットテストフィールドでの座学風景：

担当 山田竜平

ローバ操作に関する座学に加え、福島ロボットテストフィールドの設備や、利用する上での注意点などを紹介した。



実習の準備風景：

座学を実施した建屋から実習用機材を走行路に移動させた。



屋外走行路での実習準備風景：

日差しがきついためテントを利用して大型モニタや実習に使用するローバ等を準備した。

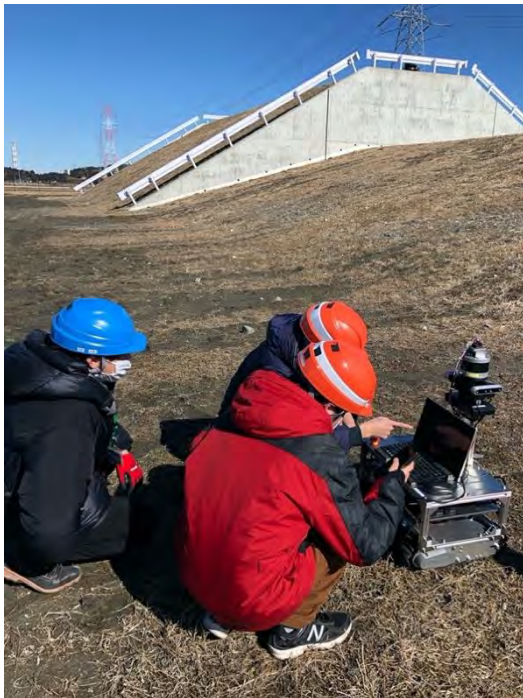


実ローバの操縦練習風景：

自分自身で取得したデータを解析するため、各自で練習を実施した。まずはアスファルト上での操縦と取得データの確認の方法などを練習した。



左：不整地上での実際の走行データ取得風景、右：走行路の全景（手前が 15 度、奥が 30 度の傾斜）



走行後に取得したデータを確認する風景：
その場でデータが正常に取得されているかを確認した。



傾斜地の登坂にチャレンジする風景(ビデオからの画像作成)：

傾斜地の表面には多少の凹凸や、小さな岩石があるため、走行ルートを選んで走行させた。
速度を上げすぎると機体が前後に振動し、それに伴い LIDAR も振動してレーザの出射方向が変動するため、取得した LIDAR データに悪影響を及ぼすことなどを、実習を通じて体験した。



左:斜面上端からの降り方向での操縦風景:

降りは速度を上げると振動がより強くなるため、速度のコントロールをより慎重に行なう必要があった。

上:斜面での操縦を上から見守る受講生:



台車タイプの装置によるデータ取得風景:

データ比較のため、手で押す台車タイプの装置を使ったデータも取得した。台車タイプでは、人が台車を押す速度が速すぎる、一定でないなどが原因となり、LIDAR データへの悪影響がより顕著であることを体験した。

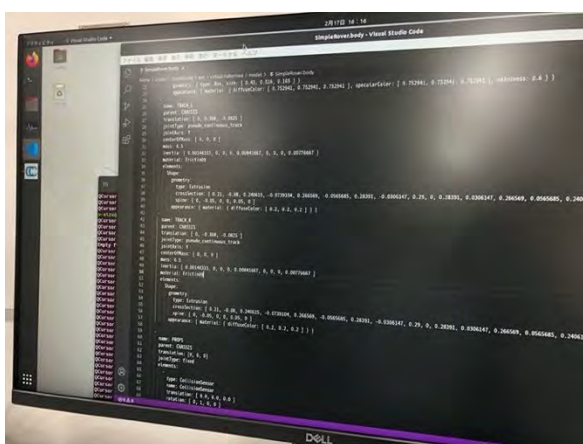


屋内に戻っての取得データ処理の作業風景:

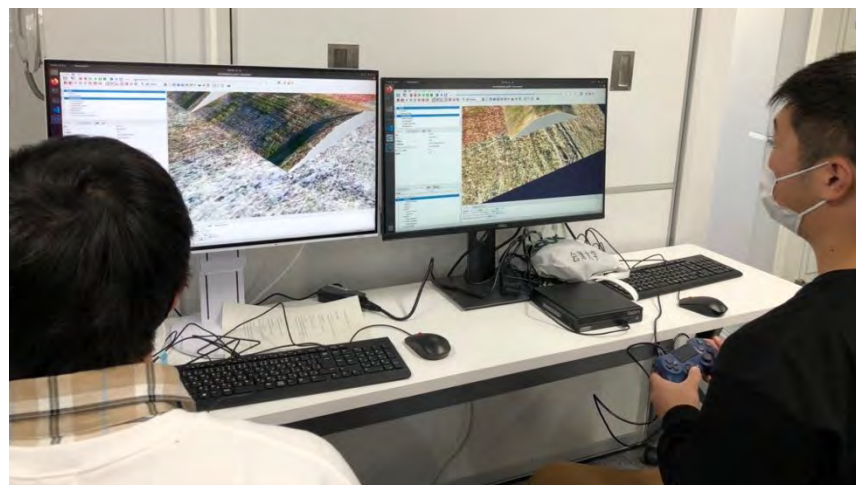
各自の PC にデータ処理の環境を構築し、処理作業を行う。



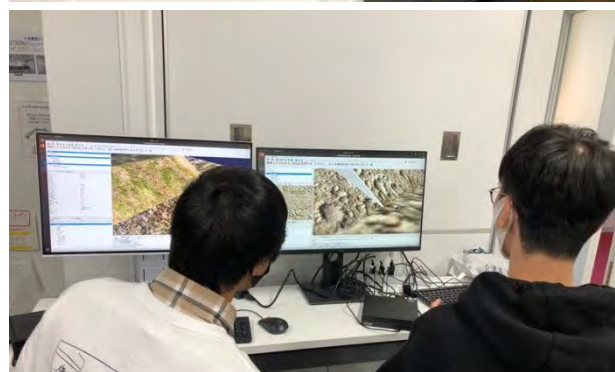
バーチャル箱庭の動作説明風景：
ローバの操作方法や、地球上・月面のプロジェクトの切り替え方法などを説明した。



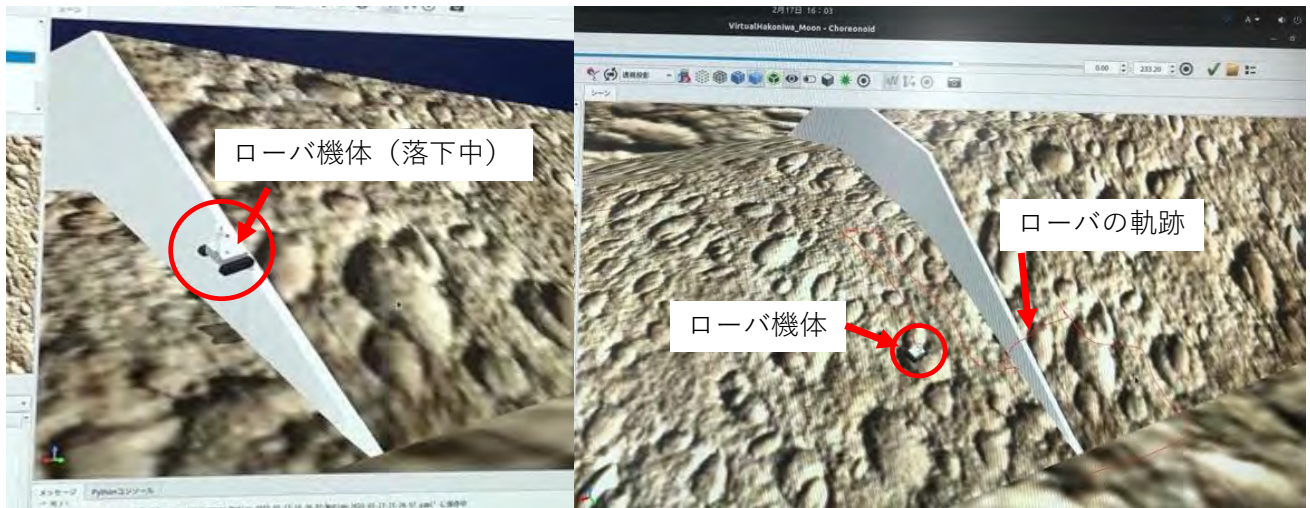
バーチャル箱庭のプロジェクトの記述内容：
コレオノイドを使ったプロジェクトに記述されている内容の読み方、具体的なパラメータの設定方法を説明した。



バーチャル箱庭での実習風景：
2 台の計算機を使って、効率的に実習を実施した。



バーチャル箱庭での実習風景：
2 台で地球上・月面それぞれのプロジェクトを立ち上げてローバの操縦を行い、環境の違いによる走行状況の差異を体験した。



バーチャル箱庭での実習画面：

月面プロジェクトで 30 度の斜面から落下して 15 度斜面に移動する場面もあった。



実習回当日のまとめ議論の風景：



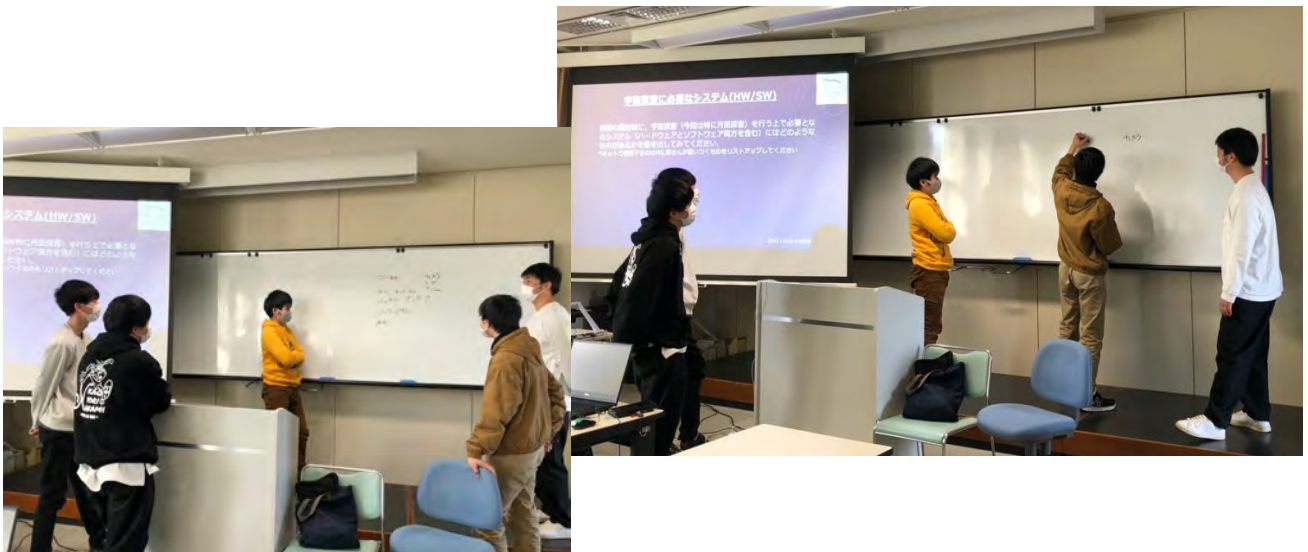
実習終了後の風景：

実習を無事に終え、バスで福島ロボットテストフィールドを後にした。

＜科目受講前後でのコンセプトマップ比較＞

座学開始前に、宇宙探査(今回は特に月面探査)を行う上で必要なシステム(ハードウェアとソフトウェア両方を含む)には、どのようなものがあるかを書き出すように指示した。なおインターネットで検索することは不可とした。授業開始時点での理解を確認し(授業開始時点では、参加者全員で議論の上でのリストアップを指示した)、これと同じ内容を授業最後にも実施し、今度は各自でのリストアップとした。科目受講前後でのリストの比較から、受講生の理解度進展を確認した。

結果、受講開始時点では 11 項目しか出ていなかったのに対して、受講後には 24～30 項目程度出ており(項目数だけでも 2～3 倍に増加)、各項目の記述も、SLAM 技術の項目を挙げるなど、より具体的になっており、授業での成果が確認できた。



コンセプトマップ作成風景（受講開始時点）

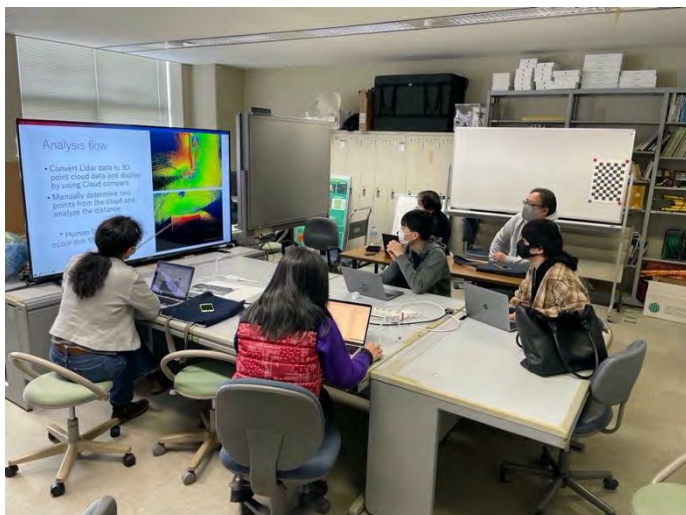
また、宇宙探査ローバを使った授業内容に関して、ハードウェアとソフトウェアとの密接な関係の重要性が理解でき、その点が面白かった、等の感想が得られた。

＜実習後の成果発表会での成果＞

実習で得られた結果を以下の観点でまとめ、1 名 10 分程度で発表するように指示した。

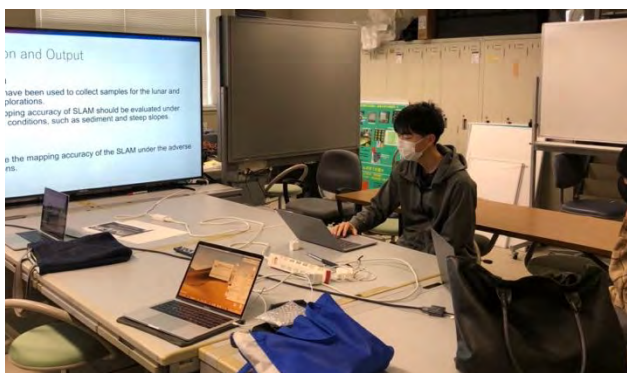
- ・発表に含める内容
 - 今回の実習の目的
 - 実習でのデータ取得条件
 - 実空間で取得した LIDAR データの点群処理結果
 - 得られた点群データとバーチャル箱庭でのローバ走行の軌跡とを重ねて表示、両者(実空間データとバーチャル空間データ)が整合することを確認
 - 実空間であらかじめ測定して設置していた移動目標物間の距離を、LIDAR 点群データ内で計測し、点群内での誤差を評価、誤差が大きい場合にその原因を考察

発表風景および発表資料の一部を例として以下に示す。

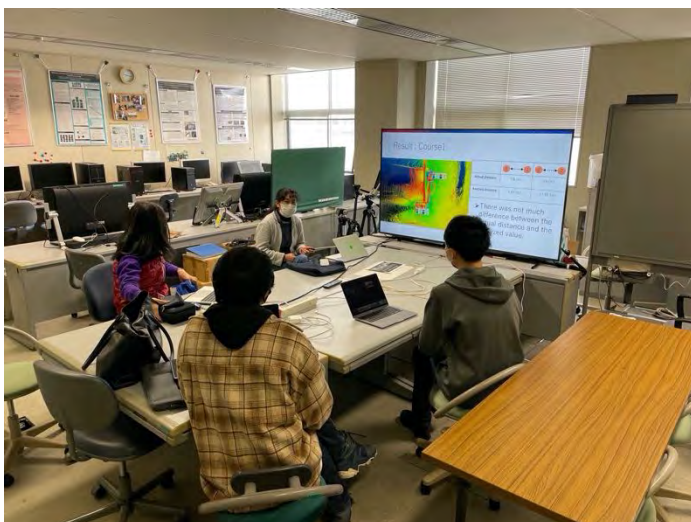


受講生による成果発表会の風景：

得られた点群データとバーチャル箱庭でのローバ走行の軌跡とを重ねて表示し、両者（実空間データとバーチャル空間データ）が整合することを確認した。



受講生による成果発表会の風景：



受講生による成果発表会の風景：

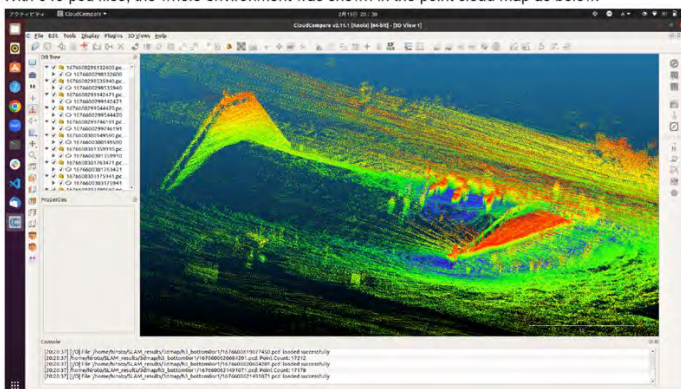
取得した LIDAR の点群の中で、どの場所で誤差が大きいか、またその原因や対策の仕方など、議論を実施した。



(Fig.3) Picture of slope and some feature points on the course

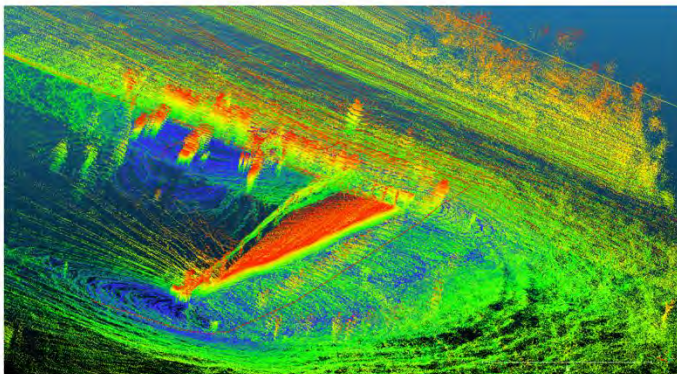
Experiment Result

With 349 pcd files, the whole environment was shown in the point cloud map as below.

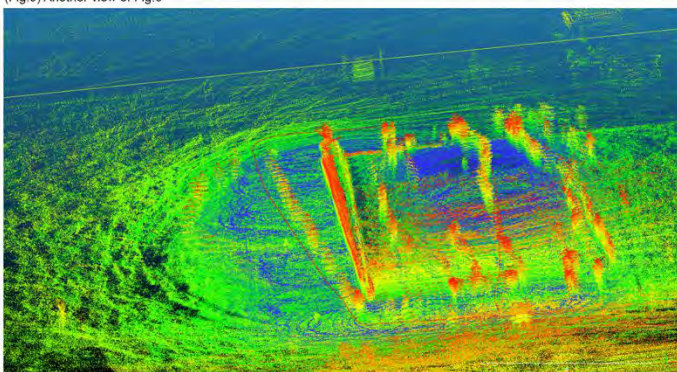


(Fig.4) Result of point cloud data with 349 pcd files

実験領域の写真(上)と自身で取得した LIDAR データの処理結果(下)(受講生の発表資料より抜粋):



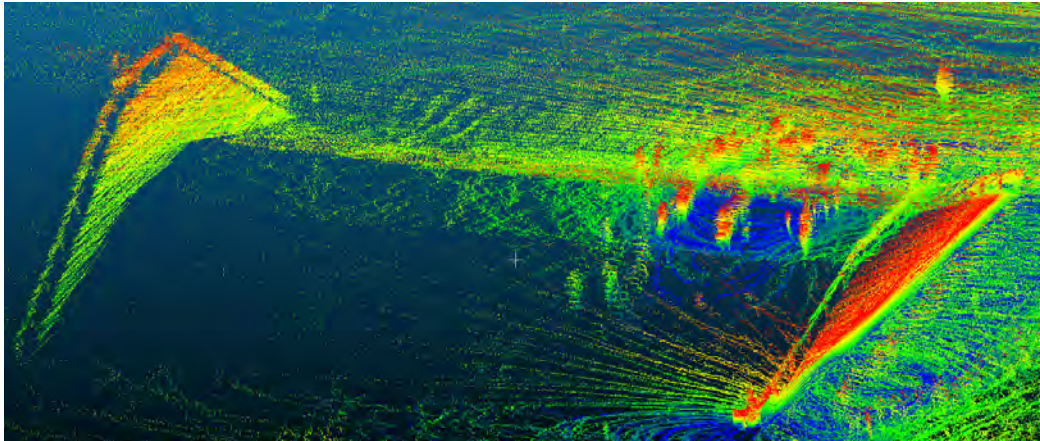
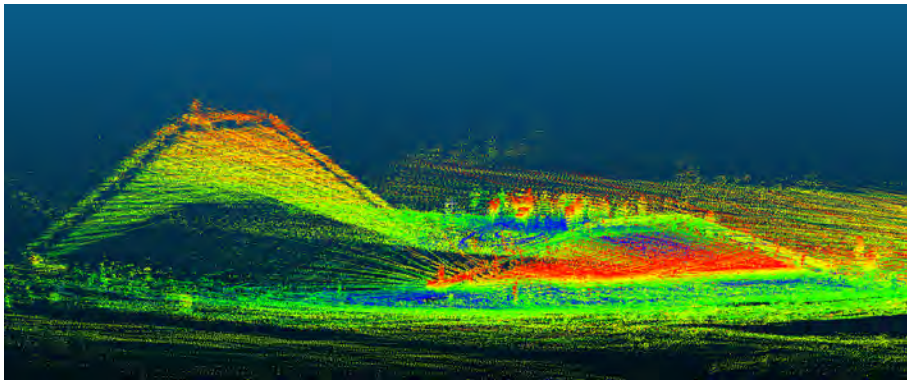
(Fig.9) Another view of Fig.6



(Fig.10) Another view of Fig.6

受講生が取得した LIDAR データの処理結果(受講生の発表資料より抜粋):

リアル空間で取得した LIDAR 点群上に、バーチャル箱庭内でのローバ走行の軌跡が赤線で正しく再現されている。斜面上に多数の赤い塊に見えるのは、実習時に周りにいた人。



受講生が取得した LIDAR データの処理結果(受講生の発表資料より抜粋):

<該当科目実施で得られた教育プログラムとしての改善点>

- ・バーチャル箱庭の仕様に関する以下の改善点フィードバックが得られた。
 - 現状では有線のコントローラであるが、複数の受講生が使う場合は無線の方が便利
 - キーボードでのコントロール機能があると便利
 - バーチャル空間内に距離スケールが欲しい
 - >>実スケールに対応するグリッドラインを表示する機能で対応可能のため、当日すぐに対応した
 - バーチャル箱庭内のローバ軌跡の色が見えづらい>>こちらも当日すぐに対応した
 - 出力されるローバ位置情報に、各地点の時刻情報を追加できると便利
 - 現状ではコレオノイドベースのプログラムと PDC の可視化等別プログラムの起動が必要で、やや手順が煩雑
 - バーチャル空間内のローバに搭載したカメラにより取得したカメラ画像を表示できると便利
 - 現状は実際のフィールドで取得した地形データがバーチャル箱庭内で再現できているわけではないため、実空間に存在する微妙な凹凸や岩石片などの影響が再現できていない
- ・科目実施のタイミングとして、2 月では他の授業との重複は避けられる一方で、就職活動に関係したイベントとの重複が多いため注意が必要(逆に実施時期を工夫することで、より多くの学生が参加できる可能性あり)。
- ・雨天時に屋内で走行実習を行う場合に備えて、ルートの検討・確保が必要。

・今回は実習実施と成果発表会までの時間が短く、成果発表資料の準備が十分にできなかったとの意見があったため、今後は時間を取れるような配慮が必要。

・技術的な気づき:実空間でのローバ機体走行に関して、今回は折り畳み式のコーンを設置していたが、この先端が一部、風により振れることがあり、LIDAR データに影響が出ていた。次回は、風の影響を受けず、かつ位置を特定しやすい移動目標点の設置があるとよい。

・技術的な気づき:実空間でのローバ機体走行時の移動速度の定量化(把握)を行うことができれば、取得する LIDAR データの点群の位置誤差を評価した上で、誤差を低減するための走行速度を検討するなど、新たな課題設定につなげられる可能性あり。

ii) 年度末に開催した箱庭実習会と関連勉強会による成果

2023/3/24の午後に一般研究者・産業界に向けた箱庭実習会と関連勉強会を開催した。場所は会津大学で、月火星箱庭教育プログラムの紹介や SLAM 技術の紹介に関する座学の後、大学構内の公園周辺でロボットを使った LIDAR データおよびカメラデータの取得、同データを使った点群作成(のデモ)、バーチャル箱庭の実習を実施した。実施は現地開催と zoom でも参加可能とした(ロボットの走行実習時にはオンサイトの参加者による走行状況を zoom で中継した)。

参加者は、福島県の産業界、月科学研究者、会津大学学生など 24 名(本事業の参画者である大学教員を除く)。以下に実施風景を添付。

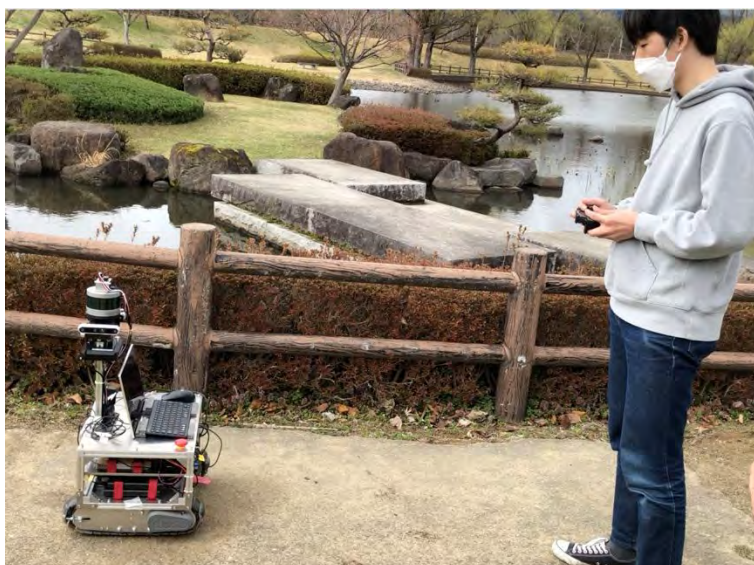


箱庭実習会と関連勉強会の風景：

会津大学にて実施。最初に本事業の背景や目的を紹介し、その後、ローバのデータ処理、SLMA 技術等に関する座学を実施した。



会津大学の公園周辺での実ローバを使った箱庭実習会の風景：



参加者による実ローバの走行風景：



参加者による実ローバの走行風景：

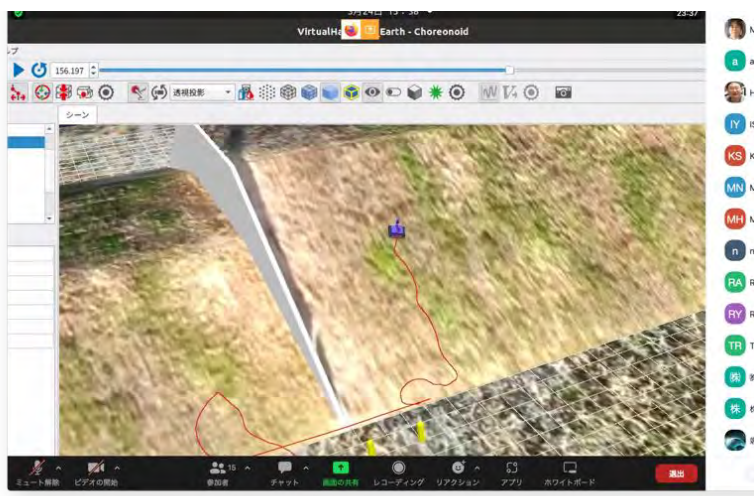
公園内の池の周囲を走行させた。福島ロボットテストフィールドの走行路に比べ、このルートは地面の凹凸が少なく、機体の振動は比較的小さい。



バーチャル箱庭の説明風景：
屋外での実ローバの走行を終えた後、屋内に戻り、バーチャル箱庭の実習を実施した。



バーチャル箱庭の実習風景：
参加者によるバーチャル箱庭内のローバ走行を実施。



バーチャル箱庭実習画面(zoom 画面)：
今回は、Virtual(zoom)でも参加可能とし、実習風景を画面で共有した。

＜箱庭実習会と関連勉強会の実施で得られた教育プログラムとしての改善点＞

- ・産業界からの参加者は、月やロボットに詳しくない方もいらした様子。座学部分に、月と地球の環境の違いなど背景情報を盛り込むと良い。
- ・産業界からの参加者は、各自の経済活動へのメリットがどこにあるのかとの観点で参加しているの、今回の事業で扱う技術の経済活動への反映の仕方やアイディア等についても、紹介できるように準備できると良い。

iii) その他の活動

i) 会津大学で実施している、学部生向けの体験型授業である「ベンチャー体験工房」の後期実施の体験テーマの一つとして、月火星箱庭教育プログラムに関連したテーマを提案し、既存の月面データを用いた月面 VR データの作成を目指して、2名の学生が参加して VR 技術に関する勉強会を実施した。該当の活動で VR ゴーグルを利用した。

ii) 本事業を啓蒙する活動として、以下のような学会や学会関連の発表会、一般への講演会等を実施した。

- ・宇宙科学シンポジウムでのポスター発表(発表の表紙を添付、図左上)
- ・宇宙航空フェスタでのポスター発表(ポスターを添付、図右上)
- ・会津 IT 秋フォーラム 2022 での特別公演(大学作成のチラシを添付、図左下)
- ・IEEE Sendai Section LMAG/WIE/YP 共同主催講演会 (プログラムを添付、右下)



IEEE Sendai Section LMAG/WIE/YP 共同主催講演会

- 日時：2022年11月19日(土) 13:00~16:30
- 開催方式：Zoom Webinar によるオンライン開催
- 主催：IEEE Sendai LMAG (Life Members Affinity Group)
IEEE Sendai WIE (Women in Engineering Affinity Group)
IEEE Sendai YP (Young Professionals Affinity Group)
- プログラム：
 - > LMAG/WIE/YP 共同主催講演会について [15分]
澤谷 邦男 (Sendai LMAG Chair), 菊池 仁 (Sendai WIE Chair), 山口 恭正 (Sendai YP Chair)
 - > 講演1 「イノベーションへの向き合い方」 [60分]
松田 将寿 氏 (Transformation Consulting)
- <講演要旨>
現在の課題の一つにイノベーションがあるが、諸外国に比べて日本のイノベーションは質・量ともに見劣りする。その要因には様々なものが想定されるが、コンサルティング活動を通じて見受けた個人・法人内におけるイノベーションに対する壁を紹介する。そして法人からイノベーションを生み出すために個人と法人でそれぞれ変えた方が良いものがある。それらを事例も踏まえて紹介する。
- > 講演2 「今後の月探査への情報技術の貢献」 [60分]
大竹 真紀子 氏 (会津大学コンピュータ理工学部)



3 まとめ

月・火星表面等での活発な探査や有人活動に備え、ハードウェア(HW)を理解した上で最新のSLAM技術やAI技術等ソフトウェア(SW)技術を習得した、宇宙開発を情報分野で担う人材の育成を目指す。この目的のため情報系の会津大学とJAXAの宇宙科学研究所が連携し、情報系・宇宙分野横断の『月火星箱庭教育プログラム』を立ち上げた。

関連した会議を本事業実施期間内に計28回実施、教育プログラムとしての直接の活動を会議は除いて計8日間実施し、その成果として、大学院集中講義科目で1回(参加者は学生8名)、箱庭実習会と関連勉強会で1回(参加者は24名)、学部生向けのベンチャー体験工房授業で1回(学生2名が本テーマを選択)、本事業の内容で活動を実施し、次年度に向けた教育プログラムとしての改善点フィードバックを得た。教育プログラムのHW面では宇宙機模擬機体の制御・評価を実習した。年度当初に予定していた成果を十分にあげることができた。

4 添付資料

次ページ以降に以下の資料を添付する。

- ・宇宙科学シンポジウムでのポスター発表

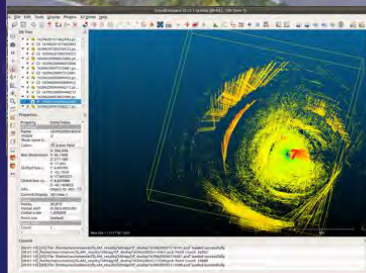


大竹真紀子



P-113 P 月火星箱庭教育プログラムによる 宇宙情報系人材教育の取り組み

大竹 真紀子, 出村 裕英, 成瀬 継太郎,
小川 佳子, 本田 親寿 (会津大学)



↑ 福島ロボットテストフィールドの利用予定領域 (南相馬市写真)

1

2023宇宙科学シンポジウム 大竹真紀子

背景

問題意識：今後、アルテミス計画で行われるゲートウェイ建設、月面活動等において日本はどう貢献できるのか？

-マンパワーの限られる日本では、CPS*の導入による効率的な宇宙機開発の実現が鍵

-月・火星表面でローバ取得データを用いて自動で周辺地図を作り、障害物を検知・経路作成など、高度情報処理を用いた技術分野が鍵

アルテミス計画



(credit NASA)

これら技術獲得にはソフトウェア&データ処理技術を持つ人材が必要だが、従来の宇宙開発関連教育プログラムではハードウェア開発の教育に重点。

サイバーフィジカルシステム(CPS)：現実世界からデータ収集を行い、その結果をサイバー空間分析・解析・推測に用い、その結果を実世界にフィードバックすることで効率的・効果的な成果を得ようとするシステム。

R4年度文科省委託費へ教育プログラム提案・採択



文部科学省 MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY

会見・報道・お知らせ | 政策・審議会 | 白書・統計・出版物 | 申請・手続き | 文

トップ > 科学技術・学術 > 分野別の研究開発 > 宇宙開発利用 > 事業（宇宙開発利用） > 宇宙航空科学技術推進委託費 > 令和4年度宇宙航空科学技術推進委託費の採択課題の決定について > 科学技術推進委託費 採択課題

（別紙2）令和4年度宇宙航空科学技術推進委託費 採択課題

(5) 「AI・デジタル化x宇宙」技術革新人材育成プログラム			
月火星衛星教育プログラムによる宇宙情報系人材の育成基盤構築	会津大学 大竹真紀子	令和6年度	
高大連携宇宙AIコンペティションを通じた「インテリジェント宇宙機」開発人材の育成	金沢大学 松田昇也	令和6年度	

https://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/space/jigyoku/detail/1406357_00007.htm

●本事業では題材に宇宙探査ローバを用い、その走行(制御)実習とデータ処理演習を通じ、今後の衛星の開発・運用プロセスを効率化・高信頼性化する情報系の人材を育成する。教育プログラムを一般に公開し、広く国内の宇宙・関連産業への貢献を図る。

2023宇宙科学シンポジウム 大竹真紀子

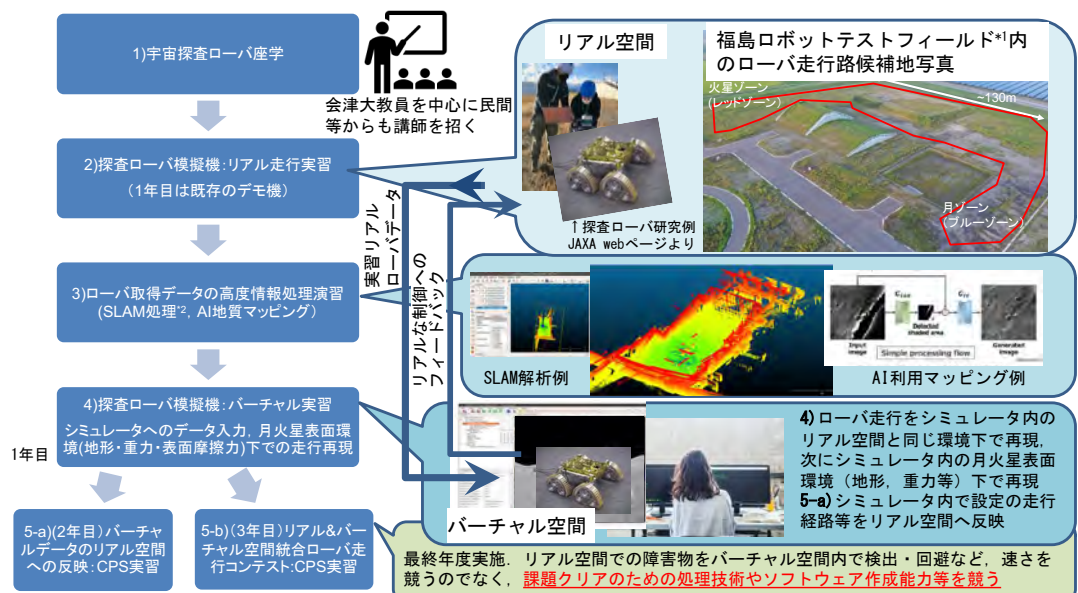
採択された教育プログラムで育成する人材・構成

●“宇宙探査用ローバ”を題材に用い、宇宙機の開発（特に評価部分）に計算機シミュレーションを活用するデジタル化技術（サイバーフィジカルシステム：CPS）を導入することで、効率的かつ信頼性の高い衛星の開発を実現する人材の育成を目指す。

●このような人材の育成に向けて、情報系に特化した会津大学が民間企業や宇宙科学研究所と連携し、リアル空間・シミュレーション空間両方での探査用ローバ模擬機を使った走行実習/CPS実習、AI技術を活用した自動マッピング等からなる教育プログラムを作成する。

サイバーフィジカルシステム(CPS)：現実世界からデータ収集を行い、その結果をサイバー空間分析・解析・推測に用い、その結果を実世界にフィードバックすることで効率的・効果的な成果を得ようとするシステム。

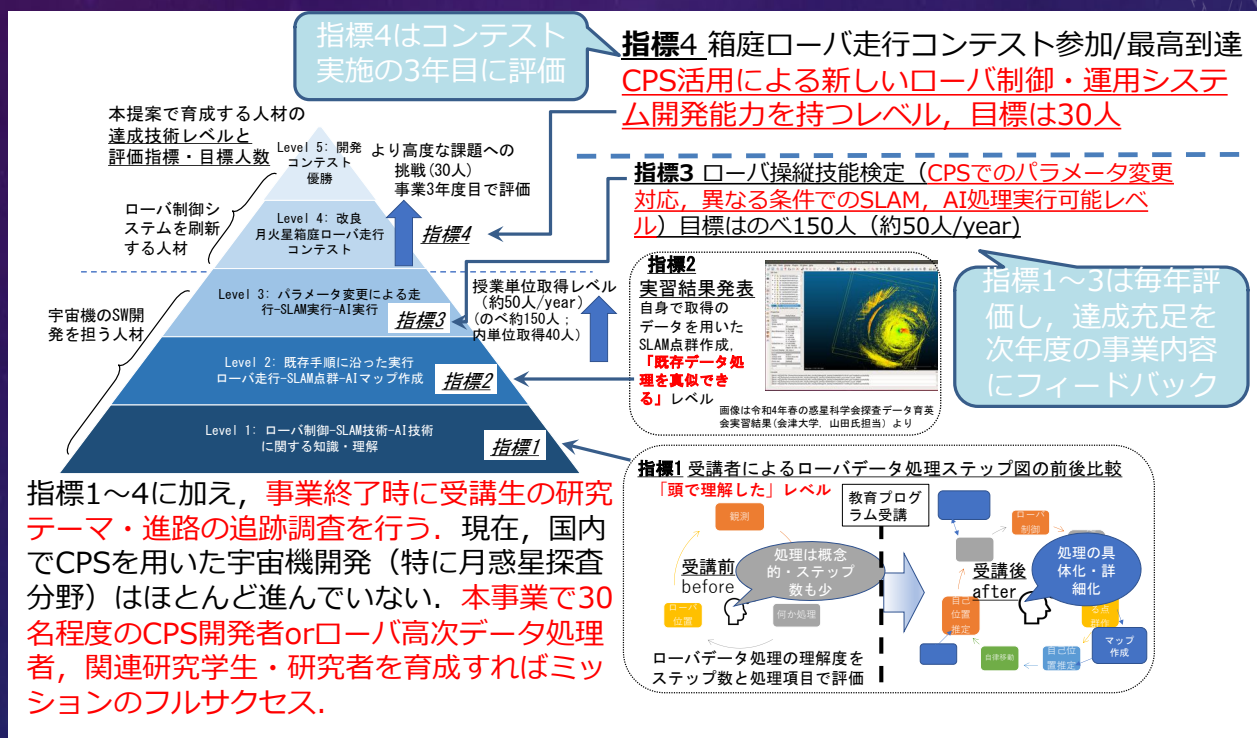
月火星箱庭教育プログラムの構成



*1: 福島ロボットテストフィールド (福島RTF) は福島県にある試験施設。一部を探査ローバの走行実習場として利用。加えて走行シミュレータを作成し, リアル空間 (リアル箱庭) とバーチャル空間 (バーチャル箱庭) 両方を合わせて「月火星箱庭」と呼ぶ。
*2: SLAM: Simultaneous Localization and Mapping (ロボットの自己位置推定と地形図生成を同時に行う技術)



月火星箱庭教育プログラム：教育効果指標



月火星箱庭教育プログラム：スケジュール

FY2022：

- コレオノイドを利用したシミュレータ基幹部開発→ 2023年2月
- 教育プログラムの内容検討&教育プログラム試作実施
 - >学内授業実施：2023/2/7-2/8:座学，2/17-2/18:RTFでの実習，2/20: RTF成果発表会
 - >同プログラムに関する産学連携勉強会実施：2023年3月（調整中）
 - >一般参加型実習会：2023年3月？（実施形態検討中）

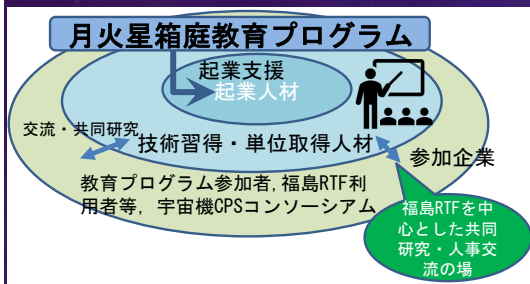
FY2023：

- コレオノイドシミュレータの改良
- 探査ローバ模擬機の作成→ 2023年9月
- 教育プログラムの本格実施
 - >同プログラムに関する産学連携勉強会実施：2023年12月
 - >学内授業実施：2024年2月,一般参加型実習会：2024年3月（TBD）

FY2024：

- 教育プログラムの本格実施
 - >同プログラムに関する産学連携勉強会実施：2023年12月
 - >学内授業実施：2024年2月,一般参加型実習会：2024年3月（TBD）
 - >ローバコンテスト（リアル/バーチャル組み合わせたコンテスト）2025年3月（TBD）
- プログラムの最終評価実施 2025年3月

月火星箱庭教育プログラムで目指すこと 短期・長期スパン



●教育プログラムの継続

福島イノベーション・コースト構想推進機構と協働での予算確保を議論中。
本教育プログラムを学内・学外に向け継続実施予定。会津大学では過去にも教育プログラムを採択事業の終了後に継続実施の実績あり。

●ローバ開発用標準走行評価試験としての継続

福島ロボットテストフィールドでの定常的な共同利用化を目指す

●現在から10年後の間に目指す姿

- ・本事業で育成した人材がCPS利用の宇宙機開発刷新を担う
- ・月火星箱庭がローバ開発の走行評価標準地になる
- ・宇宙機CPSコンソーシアムの発展，地上ロボット分野等との勉強会開催で交流活発化，福島地域復興に貢献

- ・宇宙機の開発評価に多くの時間とコストがかかる
- ・地上試験で模擬しきれない部分が信頼性の低下に

これまで．．

ローバ評価・データ処理が日本の強みに成長

10年後

CPS宇宙機開発が定着，効率化・高信頼性

福島RTFで走行試験が定着，福島の復興に貢献

月火星箱庭教育プログラム 会津大のこれまでの関連活動

<会津大提供のオンライン教材例>
コレオノイド(シミュレータ技術)例



[ライブ러리](#)
[ドキュメント](#)
[教育研修](#)
[開発ツール/フレームワーク](#)
[成果報告](#)

[教育研修](#)

[トップページ](#) > [教育研修](#)

[教育・研修資料](#)

[最新の教育・研修資料](#)

2022年4月5日
2021年度後援の事業、最優秀学生ト、資料

2021年1月7日
ロボティクスシミュレータChoreonoid実習会(2月19日) 資料

2020年2月3日
デマリアウェア実習会(12月3日) 資料

2020年2月3日
ロボティクスシミュレータChoreonoid実習会(12月3日) 資料

2019年1月18日
会津大学デマリアウェア実習会 (2月21日～2月22日) 資料

[一覧を見る](#)

[e-ラーニング](#)

[最新のe-ラーニング](#)

2017年5月27日
OpenRTX-aidを使ったための車道認識

2017年5月27日
OpenRTX-aidでセンサコンポーネントを実行

2021年2月18日
OpenRTX-aidでセンサコンポーネントを実行

2017年5月27日
OpenRTX-aidでEV3を制御

2017年5月27日
OpenRTX-aidで画像取得コンポーネント作成

2018年2月27日
OpenRTX-aidとChoreonoidを利用したEV3をデモの提供

293

<https://rtc-fukushima.jp/report/7th-robot-symposium-aizu/>

(<https://rtc-fukushima.jp/training/4204/>)

2021年度プロジェクト概要



プロジェクトリーダー
成瀬 剛太郎 教授

【背景・動機】

従来のロボットシステムは図2の物理空間にある移動ロボットが主になるもので、車輪ロボットが地図生成、経路計画、ナビゲーションをすべて行っていました。

しかしロボットの作業空間が大きくなり、また要求されるタスクが増える。移動ロボットが連携して動くことが望まれます。するとロボット間の地図の共有が必要になります。

さらにオフィスロボットでは人間と同じ作業空間に居るため、サークルやイスの位置が変化することがありますが、このときはロボットは作業を中断して地図を作り直し、再び経路計画を行い、ナビゲーションを再開します。一方、作業空間に監視カメラがあるときは、カメラがサークルやイスの位置の変化を検出することができます。

移動ロボットと監視カメラが連携してビルディング全体をシステムとすることで、ロボット単体ではできないことを可能にするスマートシステムが期待されます。我々はこれを目指しています。

【システム構成・Cyber-Physical System】

我々のシステムは以下の様に構成しています。

- ロボット・監視カメラ・経路計画が地図を共有できるように、レイヤや型の地図のデータ構造を採用した。
- 地図データはRobot Data Repository (RDR)に保存し、各モジュールが必要な時にデータを取得できるようにした。
- 仮想空間として、物理空間と同じ作業環境をシミュレータ内に構築し、ロボットの経路を事前に仮想空間で検証できるようにした。

このシステムは仮想(Cyber)空間と物理(Physical)空間と密接に連携した構成になり、Cyber-Physical System (CPS) と呼ばれています。

とくに経路計画移動ロボットの場合は、シミュレータで事前経路を検証することで以下が期待できます。

- 経路計画ではロボットの移動時間が正確に予測でき、待ち時間の少ないナビゲーションが実現できる。
- より効率的なロボットの待ち合わせが決定でき、システムのスループット向上する。

Cloud Robotics & Dual-Space

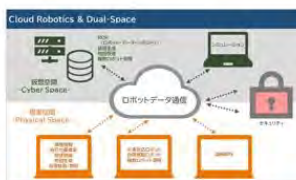


図1:プロジェクト全体図

2023宇宙科学シンポジウム 大竹真紀子

41

まとめ

- 会津大学ではR4年度宇宙航空科学技術推進委託費「AI・デジタル化x宇宙」技術革新人材育成プログラムへ応募し採択を受けた。
- 本プログラムでは題材に宇宙探査ローバを用い、その走行(制御)実習とデータ処理演習を通じ、今後の衛星の開発・運用プロセスを効率化・高信頼性化する情報系の人材を育成する。教育プログラムを一般に公開し、広く国内の宇宙・関連産業への貢献を図る。
- 本プログラムは3年間の事業終了後も、教育プログラムの実施で構築したCPSシステムや探査ロボット評価ノウハウ、産学連携により生まれる交流機会などを継続的に活用・発展させていくことを目指す。

10

学会等発表実績

委託業務題目「月火星箱庭教育プログラムによる宇宙情報系人材の育成基盤構築」

機関名 公立大学法人 会津大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所 （学会等名）	発表した時期	国内・外の別
月火星箱庭教育プログラムによる宇宙情報系人材教育の取り組み（ポスター発表）	大竹真紀子、 出村裕英、 成瀬継太郎、 小川佳子、 本田親寿、 山田竜平	宇宙科学シンポジウム	2023.1 月	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所 （学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別

（注）発表者氏名は、連名による発表の場合には、筆頭者を先頭にして全員を記載すること。