

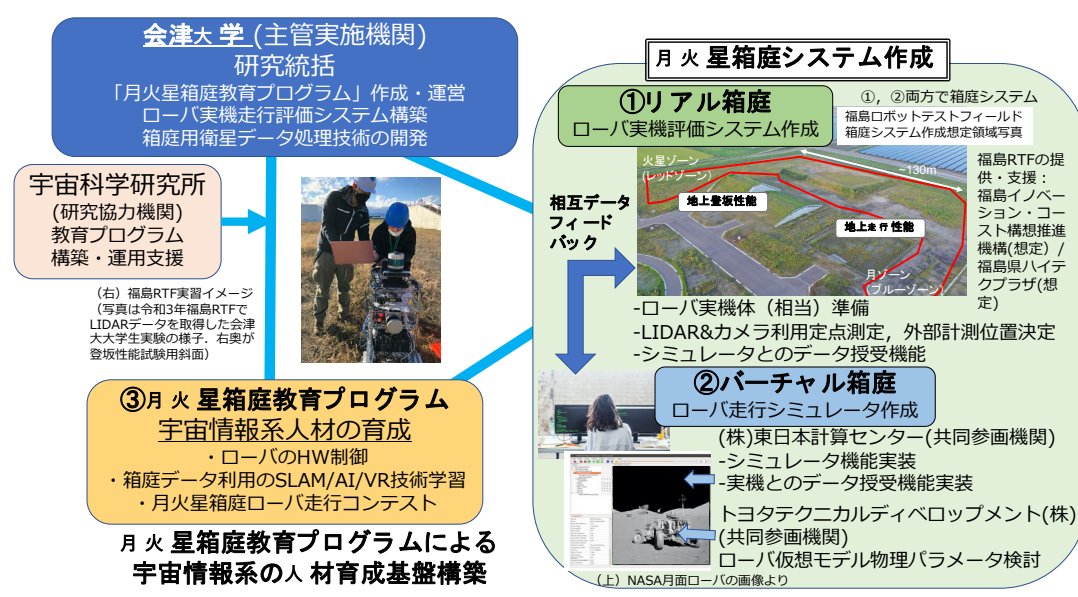
「月火星箱庭教育プログラムによる宇宙情報系人材の育成基盤構築」の成果の概要について

実施体制	主管実施機関	公立大学法人会津大学	実施期間	令和4年度～ 令和6年度 (3年間)	実施規模	予算総額 (契約額) 430百万円		
	研究代表者名	教授 大竹 真紀子				1年目	2年目	3年目
	共同参画機関	(株)東日本計算センター、トヨタテクニカルディベロップメント(株)				150百万円	140百万円	140百万円

背景・目的・この事業で目標としたアウトプット

背景: 今後の月・火星表面で想定される活発な探査や有人活動に向け、宇宙機のHWと計算機内シミュレーション空間の間の相互データフィードバックを利用した効率的な宇宙機ハードウェア(HW)開発や、SLAM・AI技術等を用いた高度なデータ処理を行うためのソフトウェア(SW)系人材が不足している。この課題解決に向けて宇宙情報系人材の育成が急務だが、従来の宇宙開発関連教育プログラムの多くで小型衛星開発などHW開発に主眼が置かれる一方で、SWを重視した育成プログラムはほとんど無いことが課題である。

目的・目標: 本事業ではこの人材育成上の課題を克服し、HWとSW両面でのローバ制御とデータ処理学習・実習を通じて、宇宙情報系人材の育成を目指す。月惑星表面探査を想定したローバの制御とソフト両面での学習・実習を行う『月火星箱庭教育プログラム』を立ち上げて授業等で活用する他、プログラムでの成果物をローバ等開発にも活用し、企業と大学の人事交流機会の創出を図り人材育成基盤とする。具体的には月火星表面での探査を想定したリアル箱庭(実機を用いたローバ走行路)とバーチャル箱庭(リアル箱庭と同じローバモデルと地形を模擬したローバ走行シミュレータ)を開発し、教育プログラムに用いるほか、企業を含めた一般の勉強会等を開催する。
アウトプット: 教育プログラムに用いるリアル箱庭、バーチャル箱庭、教育プログラムのカリキュラム、一般企業への勉強会等により得られる交流の場である。



成果展開の状況・期待される波及効果 (事業の目的に関するアウトカム)

本教育プログラムでは知識だけでなく実践的なデータの取得や解析技術について習得することを期待している。知識としての理解度評価には本事業参加前と参加後とで惑星探査ローバ運用に必要なHW/SWリストの数 (before/afterの比較) による知識の可視化を実施し、本事業を通じた理解度の成長を評価することを想定し、指標はbefore/afterの比較が2倍程度になることと設定した。実際の成果評価の結果、3年間の平均で必要な技術項目数として3から5倍程度の知見の蓄積が見られた。また実習成果の発表会及びレポートの作成を通じてデータ取得および解析技術の習得度合いを評価し、十分な習得が達成されていることを確認した。波及効果の面では、本事業を通じてSLAMなど解析や情報分野での宇宙教育に関する必要性が認知され、活発になることを目標に設定し、学会活動の一部としての活動等において本教育プログラムの利用を実現することで波及効果を評価すると設定した。成果として、日本惑星科学会の探査育英会の活動の一部として勉強会、実習会を実施することができた。その他、のべ人数で学部生18名、大学院生8名が関連の卒論、修論テーマを選択することにつながり、19件の学会・講演会での発表を行い、4件の新聞掲載があった。また本事業で開発したリアル箱庭(ローバ走行路)を用いて3件のローバ走行評価を支援し、宇宙機開発の分野へも貢献した。令和7年度に入って以降も現在までに複数の企業や学生のローバ開発チームより、我々の開発したクレータ地形を使ったローバの走行試験の実施希望が来ており、長期的なアウトカムが期待できる。また本事業と関連した研究テーマでの予算獲得にもつながっている。

事業全体概要

背景

今後の月・火星表面で想定される活発な探査や有人活動に向け、宇宙機のHWと計算機内シミュレーション空間の間の相互データフィードバックを利用した効率的な宇宙機ハードウェア(HW)開発や、SLAM・AI技術等を用いた高度なデータ処理を行うためのソフトウェア(SW)系人材が不足している。この課題解決に向けて宇宙情報系人材の育成が急務だが、従来の宇宙開発関連教育プログラムの多くで小型衛星開発などHW 開発に主眼が置かれる一方で、SW を重視した育成プログラムはほとんど無いことが課題である。

目的 -本委託費を使用して世の中の何を変えるか-

月・火星表面で想定されるローバ探査に備え、ハード(HW)とソフト(SW)両面でのローバ制御とデータ処理学習・実習を通じて、宇宙情報系人材の育成を目指す。

目標 -目的のために何をするか-

月惑星表面探査を想定したローバハードの制御とソフト両面での学習・実習を行う『月火星箱庭教育プログラム』を立ち上げて授業等で活用する他、プログラムでの成果物をローバ等開発にも活用し、企業と大学の人事交流機会の創出を図り人材育成基盤とする。

実施項目 -目標のために何をするか-

月火星表面での探査を想定したリアル箱庭(実機を用いたローバ走行路)とバーチャル箱庭(リアル箱庭と同じローバモデルと地形を模擬したローバ走行シミュレータ)を開発し、座学と実習からなる教育プログラムに用いる。また開発した箱庭を使って、企業を含めた一般の勉強会等を開催する。

目的に対する指標

どれだけの授業科目と一般への勉強会等を実施し、どれだけの参加があったか。

目標に対する指標

授業受講学生:ローバを用いた月惑星探査の実施に必要なHW/SW技術のリストアップができるか、ローバを用いた実習によりデータ取得および解析技術を十分に習得できたか。
開発利用・人材育成基盤:どれだけ宇宙機の開発目的の利用があったか。企業との人事交流機会の場を設けることができたか。

事業内でのアウトプット

教育プログラムに用いるリアル箱庭(走行路と実習用ローバ)、バーチャル箱庭、教育プログラムのカリキュラム自体、一般企業への勉強会等により得られる交流の場、参加者

① 「リアル箱庭」

実施内容・成果

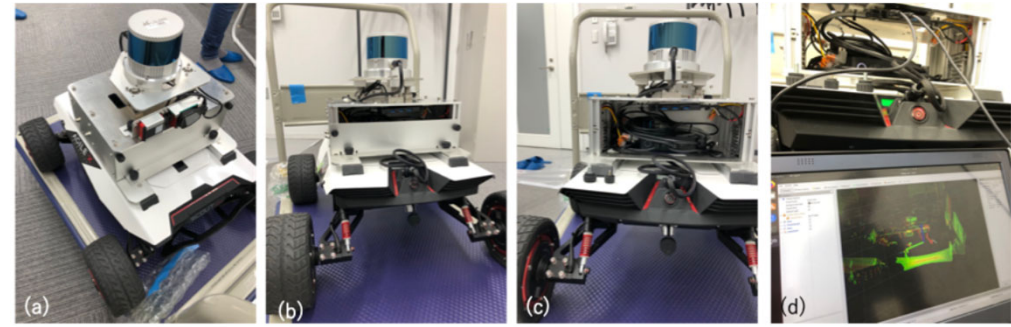
リアル箱庭（福島RTF）でのローバ実機の走行・地形等周辺データ取得実習を行うためのリアル箱庭を開発した。

R4：ローバ模擬機LIDAR+カメラによる自己位置データ取得システムの開発、ローバ測定システムを作成した。

R5：ローバ機体を製作し、取得した実機ローバのデータ（形状モデルとローバ走行速度）をバーチャル箱庭（ローバ走行シミュレータ）に入力済み。

R6：福島ロボットテストフィールドにクレータ地形の造成と模擬レゴリスでクレータ内面を覆い、表面摩擦を変更した。さらに、変更後の表面摩擦力をローバ実機で測定の上、箱庭へのデータ反映済み。

ここまでで、ノミナルサクセスを達成した。



作成したローバ機体 (a)ローバ全体、前面より。走行部の上部にLidar (円筒部) とその下にマルチバンドカメラ (カメラ本体と校正部の2つのボックス) を取り付けている。マルチバンドカメラの下部にあるアルミ筐体内にPCおよび各配線が入る。(b)ローバの後面。アルミ筐体側面は取り外し可能な構造としている。(c)ローバの後面、アルミ筐体の側面パネルを取り外した状態。配線の奥に小型PCを設置している。(d)ローバに搭載したPCに外部モニターを取り付け、搭載したLidarの観測データ (点群: 緑から赤い点で表示されている) をリアルタイムで出力し、動作確認をしている。

さらに、フルサクセスに設定していたローバの自己位置データ取得精度向上のためのノウハウを得た（ローバ走行速度、走行路表面荒さ、LIDARスキャン速度の各パラメータ最適化により精度が向上する）。これを受講生に提供可能にした。よって計画していたフルサクセスを達成している。

なお、クレータ地形の表面は試験実施時以外はシートで保護することにしてている。当初はブルーシートを用いていたが、風への対策と作業性等考慮して途中より目の細かいメッシュシートを採用している。また、表面ならしなどのメンテナンスも適宜行う必要がある。このように、実際にリアル箱庭を運用するにあたってはさまざまなノウハウが必要であることがわかっている。これら評価施設運用ノウハウの蓄積も重要な成果である。

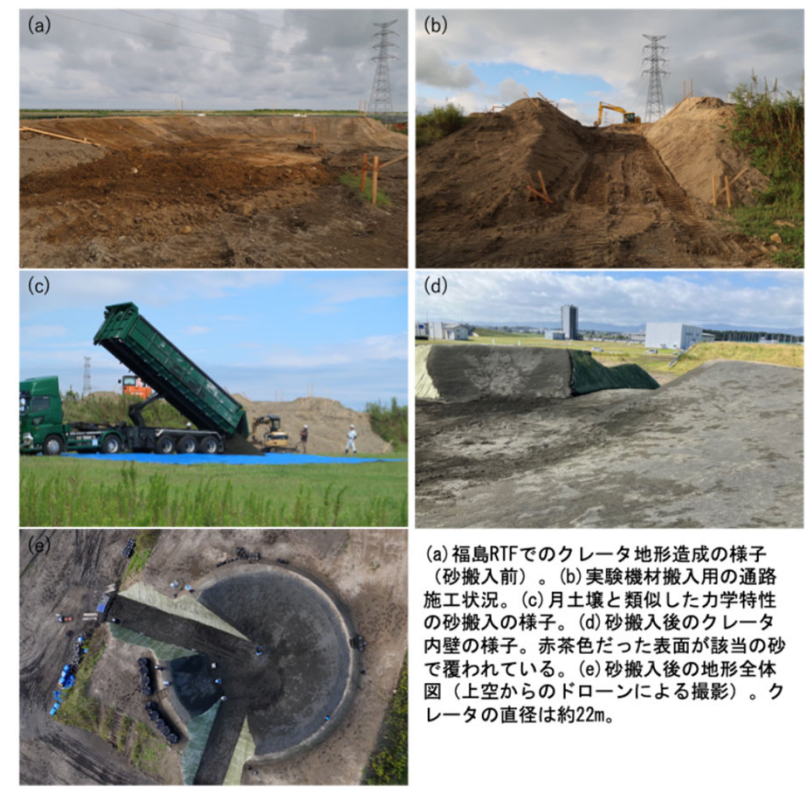
将来に向けて：今後の宇宙機開発における評価にリアル箱庭を利用することで貢献を想定しているが、そのような評価においては、月極域において太陽光高度が低く影の多い条件下を模擬したローバ走行評価を行う需要が多いと考えられる。そのような条件での作業実施に関するノウハウもこれまでにある程度蓄積しており、今後活かすことが可能である。



夜間の照明点灯状況での作業風景



上：当初ブルーシートによる保護作業
下：メッシュシートに切り替え後のカバー状況



(a) 福島RTFでのクレータ地形造成の様子 (砂搬入前)。(b) 実験機材搬入用の通路施工状況。(c) 月土壌と類似した力学特性の砂搬入の様子。(d) 砂搬入後のクレータ内壁の様子。赤茶色だった表面が該当の砂で覆われている。(e) 砂搬入後の地形全体図 (上空からのドローンによる撮影)。クレータの直径は約22m。

② 「バーチャル箱庭」

実施内容・成果

リアル箱庭で開発したローバおよびローバ走行路をシミュレータ内で再現し、リアルでの評価結果と比較できるようなバーチャル箱庭（シミュレータ）を開発した。

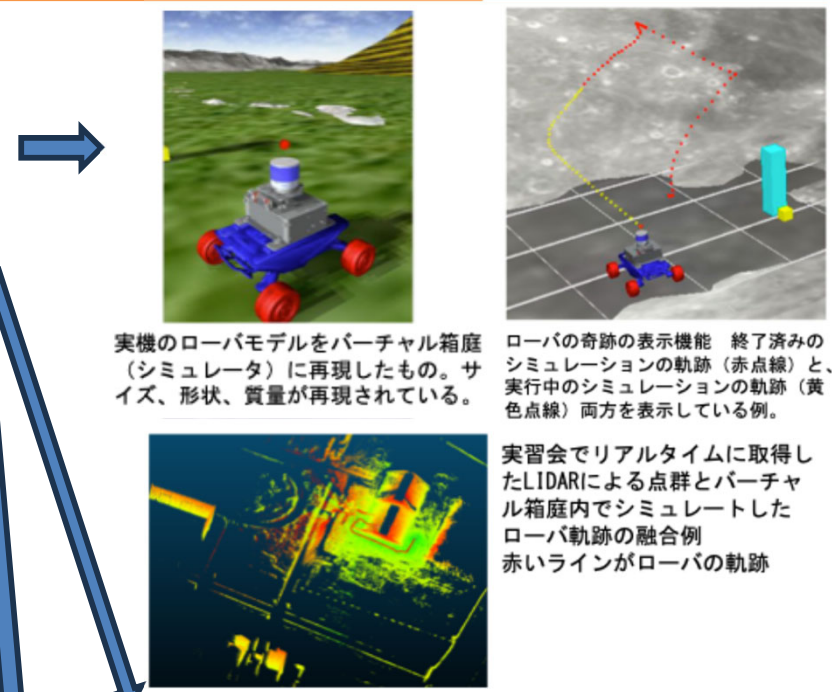
R4：シミュレータの基幹部実装を実施し、ローバモデル物理パラメータ検討、取り込みを行った。

R5：パラメータ追加（リアル箱庭で開発した実ローバモデルの取り込みを含む）、SLAMマッピング機能を追加した

R6：リアル箱庭に造成したクレータ地形と表面を月模擬物質で覆ったことによる摩擦力の変更をシミュレータに反映した。 AI技術を用いて分光画像データから地質情報を抽出した結果をもとに、シミュレータ内に配置した岩石オブジェクト毎に、異なる地質特徴情報（地質ユニット情報）を持たせるマッピング機能の追加を行った。

なお、クレータ地形については、異なる条件で作成した地形（ローバ搭載LIDARデータを使った地形、ドローンに搭載したLIDARデータを使った地形、画像からソフトウェアを用いて作成した地形）をもとに作成した地形の精度と、それらを走行評価に用いる場合の影響を評価する目的で、3種のクレータ地形を再現している。また、よりリアルな月面地形をイメージするために、実際の月面地形データから作成した月面クレータについてもシミュレータに取り込みを行った（ただし、クレータのサイズについては計算負荷を軽減する目的で、縮小している）。

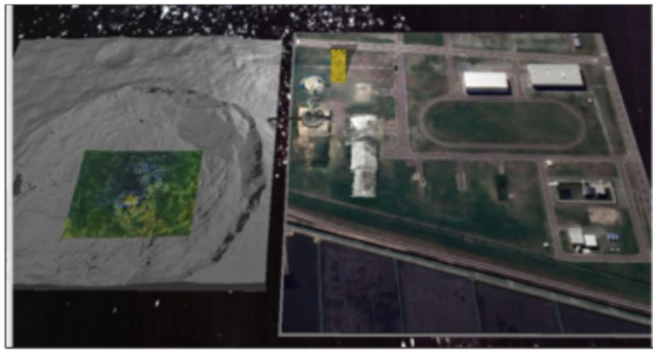
さらに、リアル・バーチャル箱庭を組み合わせた比較から、月火星ローバの開発を想定して評価すべき性能項目を提案し（重力と表面摩擦力の違いによる走行速度、登攀可能角度の違いを考慮する）、同項目を教育プログラムに反映した（実習の中でこれらを推定する課題として設定）。よって計画していたフルサクセスを達成した。



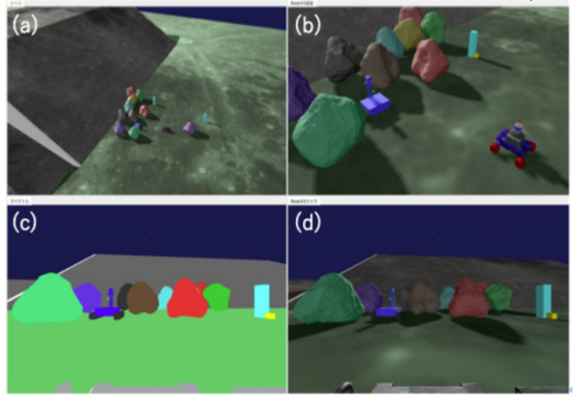
実機のローバモデルをバーチャル箱庭（シミュレータ）に再現したもの。サイズ、形状、質量が再現されている。

ローバの奇跡の表示機能 終了済みのシミュレーションの軌跡（赤点線）と、実行中のシミュレーションの軌跡（黄色点線）両方を表示している例。

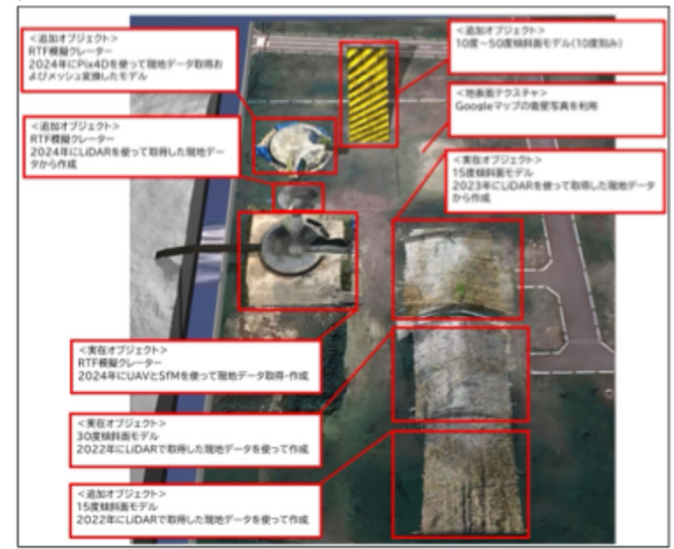
実習会でリアルタイムに取得したLIDARによる点群とバーチャル箱庭内でシミュレートしたローバ軌跡の融合例 赤いラインがローバの軌跡



構築したバーチャル箱庭内に作成したクレータ地形および福島ロボットテストフィールドの斜面等地形 左半分が実際の月面クレータを再現したエリア。リモートセンシングによる分光観測データをもとに作成した地質画像を貼り付けている。



バーチャル箱庭（シミュレータ）内に配置した岩石オブジェクトとそれらに持たせた地質ユニット情報 (a) 岩石オブジェクト鳥瞰図。(b) 岩石オブジェクトの近接図。中央やや左（水色）と右下（赤い車輪）がシミュレータ内に再現したローバモデル。この時点では地質ユニット情報では無く、単純なカラー画像と同等の情報を持つ。(c) 地質ユニット情報に切り替えた画像。ユニット毎に異なる色を割り当てて表示している。(d) (c) 画像を単純なカラー画像で見た場合。



構築したバーチャル箱庭内に作成したクレータ地形およびRTF地形

③ 「『月火星 箱庭教育プログラム』」

実施内容・成果

①リアル箱庭と②バーチャル箱庭による成果と担当教員たちによる座学部分と組み合わせて、教育プログラムを作成した。また教育プログラムを大学院科目に設定すると共に、学部での授業にも利用、また民間を含めた一般にも開放してローバ等宇宙機の開発にも役立てた。

- R4：プログラム構成、実習会、勉強会実施（計3項目 34名参加）
- R5：授業x2、実習会、勉強会開催（計3項目71名参加）
- R6：授業x2、実習会、箱庭ローバ 走行コンテスト開催（計5項目77名参加）

予定していた評価指標（のべ10項目140名程度の参加者とのミニマムサクセス目標）設定に対して、結果のべ11項目182名の参加者が参加した。ミニマムサクセスに加えて参加者へのアンケートやヒアリングを行い、改善点をまとめて事業終了後の教育に活かしていおり、計画していたフルサクセスを達成した。

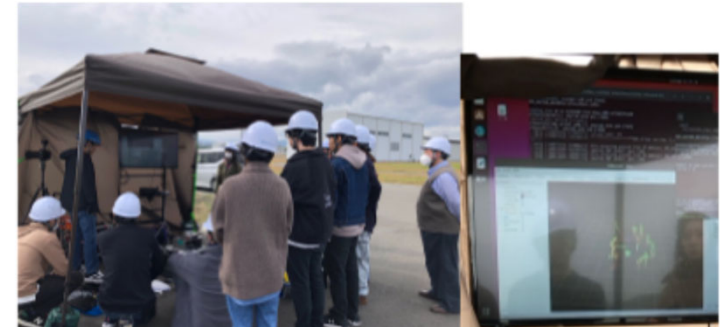
アウトカムの評価：知識としての理解度を評価するために本事業参加前と参加後とで惑星探査ローバ運用に必要なHW/SWリストの数（before/afterの比較）による知識の可視化を実施し、本事業を通じた理解度の成長を評価することをアウトカムの実施方針としていた。指標はbefore/afterの比較が2倍程度になること（学生の場合）と設定していた。これに対して授業受講のbefore/after比較を実施し、**成果の定量的な評価を行なったところ、3年間の平均で、必要な技術項目数として3から5倍程度の知見の蓄積が見られた。**また実習成果の発表会及びレポートの作成を通じて、データ取得および解析技術の習得度合いを評価し、十分な習得が達成されていることを確認した。

波及効果の面では、本事業を通じてSLAMなど解析や情報分野での宇宙教育に関する必要性が認知され、活発になることを目標に設定し、学会活動の一部としての活動等において本教育プログラムの利用を実現することで波及効果を評価することにしていた。**実際、日本惑星科学会の探査育英会の活動の一部として勉強会、実習会を実施することができた。**

その他：のべ人数で学部生18名、大学院生8名が関連の卒論、修論テーマを選択することにつながっているほか、19件の学会・講演会での発表（招待公演を含む）を行い、4件の新聞掲載があった。また開発したリアル箱庭（実機を用いたローバ走行路）を用いて3件のローバ走行評価を支援し、宇宙機開発にも貢献した。

*令和7年度に入って複数の企業や学生のローバ開発チームからリアル箱庭を使ったローバ走行試験の実施希望が来ており、一部は実施済み。また本事業の成果をもとに発展させる研究テーマでの予算獲得にもつながっているおり、当初のアウトカム目標を達成するとともに、それ以上の波及効果が得られており、今後の継続的な貢献も期待できる。

企業や一般向けの勉強会、外部からの持ち込みローバの評価、コンテストでの利用の様子



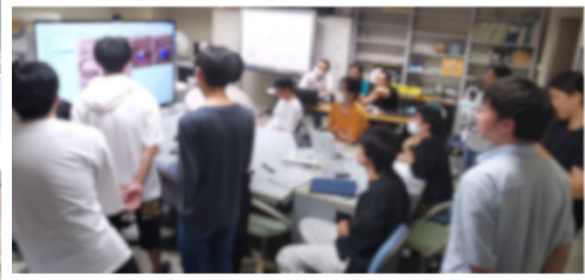
実習会風景（屋外でのローバ操作説明とデータ処理の結果例）



実習会風景1名ずつのローバ走行、データ取得実習を行い、走行速度や表面粗さと作成した地形の制度などについても評価した



実習会風景（バーチャル箱庭ローバ走行データ取得）



バーチャル箱庭内で独自に設計したローバモデルを作成し、それらを用いてシミュレータ内に設定したルートにおけるタイムアタックや、実際の月面クレータ内部への難関ルートの走行チャレンジなどの種目でレースを行った。レースの模様を見守る参加者。

その他の成果

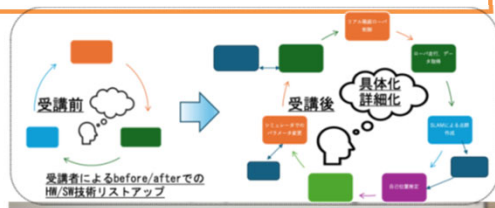
これまで得られた成果 (特許出願や論文発表数等)	特許出願	査読付き 投稿論文	その他 研究発表	実用化事業	プレスリリース・取材対応	展示会出展
	国内：0 国際：0	国内：0 国際：0	国内：16 国際：3	国内：0 国際：0	国内：4 国際：0	国内：5 国際：0
受賞・表彰リスト						

成果展開の状況・期待される波及効果(事業の目的に関するアウトカム)

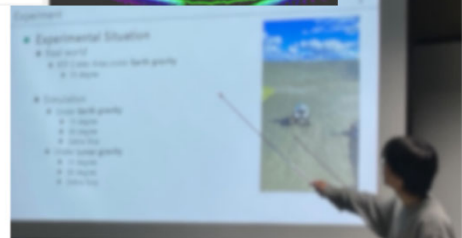
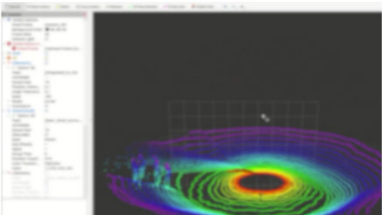
本事業の効果・効用として、講義と実習の両方を体験することで知識としての理解だけでなく実践的なデータの取得や解析技術について習得することを期待している。知識としての理解度を評価するため、本事業参加前と参加後とで惑星探査ローバ運用に必要なHW/SWリストの数(before/afterの比較)による知識の可視化を実施し、本事業を通じた理解度の成長を評価することをアウトカムの実施方針としていた。指標はbefore/afterの比較が2倍程度になること(学生の場合)と設定していた。これに対して、授業受講のbefore/after比較を実施し、成果の定量的な評価を行なったところ、3年間の平均で、必要な技術項目数として3から5倍程度の知見の蓄積が見られた。また実習成果の発表会及びレポートの作成を通じて、データ取得および解析技術の習得度合いを評価し、十分な習得が達成されていることを確認した。

波及効果の面では、本事業を通じてSLAMなど解析や情報分野での宇宙教育に関する必要性が認知され、活発になることを目標に設定し、学会活動の一部としての活動等において本教育プログラムの利用を実現することで波及効果を評価することにしてきた。実際、日本惑星科学会の探査育英会の活動の一部として勉強会、実習会を実施することができた。

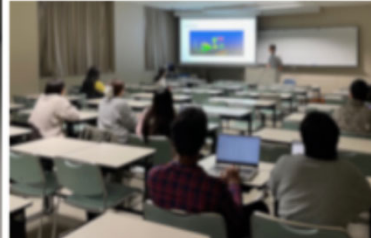
その他、のべ人数で学部生18名、大学院生8名が関連の卒論、修論テーマを選択することにつながっているほか、19件の学会・講演会での発表(招待公演を含む)を行い、4件の新聞掲載があった。また本事業で開発したリアル箱庭(実機を用いたローバ走行路)を用いて3件のローバ走行評価を支援し、宇宙機開発の分野へも貢献した。さらに、令和7年度に入って以降も現在までに複数の企業や学生のローバ開発チームより、我々の開発したクレータ地形を使ったローバの走行試験の実施希望が来ている。また、本事業と関連した研究テーマでの予算獲得にもつながっている。



授業後の月惑星表面探査に必要なハードウェア、ソフトウェア技術のリストアップ



実習結果の発表会風景



今後の研究開発計画

世界的に見ても特色のあるクレータ模擬地形(15~30度傾斜の斜面を持ち斜面走破性能の評価とともに、通信、地図作成等の評価を行うことができることなどが特徴)の認知度の向上を目指して活動を行ってきた。結果、認知度が上がるにつれてローバ開発を目指す企業や、学生チームからこの地形を使ったローバの走行試験希望が増加しつつあり、すでに一部評価実施済み。今後も関連分野において継続的なニーズが見込まれる。これら活動を通じて関連企業や学生との研究・交流を活発に行い、若手の人材育成に貢献するとともに、宇宙機の開発にも貢献する。それら継続的な貢献のために、会津大学では本事業終了後も引き続き「月火星箱庭構想」の発展に向けた組織的な活動を行うほか、福島ロボットテストフィールドと協力し、造成したクレータ地形の定常的な活用を目指した制度面での調整を実施中。人的体制に関しても、他大学との連携協定を新たに結んでおり、これらを通じて継続的な活動を行う。資金面でも、福島県の産学連携宇宙研究開発支援事業費補助金に対し、本事業の成果を発展させた研究を応募して採択を受けている。そのほかにも関連する予算獲得にもつながっていることから、それらを通じて継続的なアウトカムの創出を目指す。

事後評価票

令和7年3月末現在

1. プログラム名 「AI・デジタル化×宇宙」技術革新人材育成プログラム
2. 課題名 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
3. 主管実施機関・研究代表者 公立大学法人会津大学 教授 大竹 真紀子
4. 共同参画機関 株式会社東日本計算センター トヨタテクニカルディベロップメント株式会社
5. 事業期間 令和4年度～令和6年度
6. 総経費 43百万円
7. 自己点検結果
(1) 課題の達成状況 「所期の目標に対する達成度」 ◆ 所期の目標 月・火星周回軌道上および天体表面での活発な探査や有人活動に備え、ハードウェアを理解しつつ最新の SLAM 技術や AI 技術を用いた地形・地質認識技術等ソフトウェア技術に関する専門的な知識と経験を持ち、ローバを含む宇宙機の開発・運用シミュレータ・実運用支援システムの開発を情報分野で支える人材の育成を目指す。そのような人材育成を目的に、情報系に特化した会津大学と宇宙科学教育機能を持つ宇宙科学研究所が連携し、情報系と宇宙分野横断の教育プログラム『月火星箱庭教育プログラム』を立ち上げる。また教育に加え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。
◆ 業務計画に対する達成度 月・火星周回軌道上および天体表面での探査や有人活動を踏まえ、ハードウェアの知識と情報科学的な知識と経験を持つ人材育成を目指して、情報系と宇宙分野横断の教育プログラム『月火星箱庭教育プログラム』を立ち上げて学内の複数の授業において活用した。また、同プログラムの成果の一部を教育に加えてローバ等宇宙機の開発を行う企業や学外の学生、研究者にも勉強会等の形で公開し、企業と大学との共同研究や人事交流機会を創出し、人材育成の基盤の構築に役立てた。これら活用により、当初の目的を十分に達成することができた。

中間報告資料（様式）中の「5. 成果に関する事後自己点検の方針〈実施項目ごとの目標値及び評価指標〉」から目標値と評価指標を抜き出し、評価指標に対する達成度を記載した。

実施項目	目標値	評価指標に対する達成度
①リアル箱庭	R4a) ローバ模擬機 LIDAR+カメラによる自己位置データ取得 R4b) ローバ測定システム作成 R5a) ローバデモ機体の作成 R5b) 取得データをバーチャル箱庭に入力 R6) 表面摩擦変更と箱庭へのデータ反映	R4a) ローバ模擬機 LIDAR+カメラによる自己位置データ取得済み R4b) ローバ測定システム作成済み R5a) ローバデモ機体の作成済み R5b) 取得データバーチャル箱庭に入力済み R6) 表面摩擦変更と箱庭へのデータ反映済み フルサクセスに記述したローバの自己位置データ取得精度向上のためのノウハウを得た（ローバ走行速度、走行路表面荒さ、LIDAR スキャン速度の各パラメータ最適化により精度が向上する）。これを受講生に提供可能にした。よって中間報告資料中フルサクセスを実現した。
②バーチャル箱庭	R4a) ローバモデル物理パラメータ検討 R4b) バーチャル箱庭基幹部実装 ver. 02 月リリース R5) パラメータ追加、SLAM マッピング追加 R6) 摩擦変更、AI マッピング機能追加	R4a) ローバモデル物理パラメータ取り込み済み R4b) バーチャル箱庭基幹部実装 ver. 02 月リリース済み R5) パラメータ追加、SLAM マッピング追加済み R6) 摩擦変更、AI マッピング機能追加済み さらに、リアル・バーチャル箱庭を組み合わせた比較から、月火星ローバの開発を想定して評価すべき性能項目を提案し（重力と表面摩擦力の違いによる走行速度、登攀可能角度の違いを考慮する）、同項目を教育プログラムに反映した（実習の中でこれらを推定する課題として設定）。よって中間報告資料中フルサクセスを実現した。
③『月火星箱庭教育プログラム』	R4) プログラム構成、実習会、勉強会実施。計 2 項 30 名程度の参加 R5) a) 授業 x2、b) 実習会、勉強会開催（計 4 項 50 名程度の参加 R6) a) 授業 x2、b) 実習会、c) 箱庭ローバ 走行コンテスト開催（計 4 項 65 名程度の参加）	R4) プログラム構成、実習会、勉強会実施（計 3 項 34 名参加） R5) a) 授業 x2、b) 実習会、勉強会開催（計 3 項 71 名参加） R6) a) 授業 x2、b) 実習会、c) 箱庭ローバ 走行コンテスト開催（計 5 項 77 名参加） のべ 10 項目 140 名程度の参加者とのミニマムサクセス目標設定に対して、結果としてのべ 11 項目 182 名の参加者が参加した。ミニマムサクセスに加えて参加者へのアンケートやヒアリングを行い、改善点をまとめて事業終了後の教育に活かしている。よって中間報告資料中フルサクセスを実現した。

「必要性」

[他国の先進研究開発との比較における妥当性]

現在、近い将来の月や火星表面における無人探査や有人活動（長距離移動による広範囲の探査や滞在など）に向けて、国際的な枠組みでの協働活動（アルテミス計画など）や関連した研究（月面の水氷を資源として利用するための基礎研究など）が始まっている。それら国際的な活動の中で、日本が得意分野を生かし、貢献をしながらプレゼンスを高めるためには、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急ぐ必要がある。そのために、本事業では情報科学系の会津大学と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。プログラムの中身はリアル箱庭（福島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、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・AI技術によるデータマッピング等の学習・実習で構成した。欧米に先駆けて月面へのピンポイント着陸をSLIMで実現し、またインドとの協力により月極域での水資源探査(LUPEX)を予定している日本が、いち早くそれら探査により得られた成果を生かし、先進技術を獲得するためには、情報分野を活かした効率的な開発・データ有効利用を行う人材育成を目指す本事業の必要性は十分であった。

[若手研究者の育成]

宇宙分野においては数年から10年以上の長いスパンでのミッション遂行が必要であり、それに伴い中長期的な研究や活動が必須であることから、人材育成において若手研究者の育成が最も重要である。本事業は、比較的新しい分野である情報系と宇宙分野横断での教育プログラムを立ち上げて、大学における教育活動に活かす活動であり、若手研究者の育成にダイレクトに効果のある事業である。また同時に本プログラムを宇宙企業や一般にも開放し、教育と特に新しくローバ等宇宙機の開発分野に参入しようとする“若手”企業と大学との共同研究や人事交流機会の創出と人材育成の基盤構築を目指しており、若手研究者の育成の観点で本事業の必要性は十分であった。

「有効性」

[研究開発の質の向上] 宇宙開発、特に月惑星探査の分野において、最新の情報科学分野の発展による成果を利用し、LIDARを用いた地形等周辺データの取得とデータ処理、リアル・バーチャル空間比較による地形図生成やデータマッピングの知見をもつ技術者を育成し、開発を従来よりもさらに効果的に進める基盤を作ることは、該当分野の研究開発の質を向上させる上で、非常に有効である。そのような観点から、これら知識と技術を持った若手人材の育成を目指す本事業の有効性は十分であった。

[人材の養成] 本事業は数年以上の長いスパンでの活動が欠かせない宇宙分野において、情報系の知見を活かした効果的な開発を行うことができる人材育成を目指し、情報系に特化した大学である会津大学が、宇宙科学研究所と協力して情報系と宇宙分野横断での教育プログラム

を立ち上げて、大学における教育活動に活かす活動である。従って、人材の養成、中でも若手研究者の育成にダイレクトに効果のある事業であり、若手にとっても魅力的な活動であることから有効性は十分であった。

「効率性」

〔計画・実施体制の妥当性〕情報系と宇宙分野横断での教育プログラムを立ち上げるに際して、情報系に特化し、かつこれまでに月惑星探査に参加・貢献した経験を持つ教員が集まる大学である会津大学が、月惑星探査計画の実行を担う宇宙科学研究所と協力して教育プログラムの立ち上げを行った本事業は、目標達成に向けた知識基盤やこれまでの月惑星探査の経験を持つ大学教員と、該当分野における現状の課題等を知る研究者が協力して計画を立案し、実施する体制としており、最も効率的な体制をとることが可能となっており、妥当である。また実施に当たっては福島ロボットテストフィールドを用いた実習などを含む計画としており、これまでの県内での活動経験をもとに、地域的な特色も活かした妥当な計画としていた。

(2) 成果

「アウトプット」

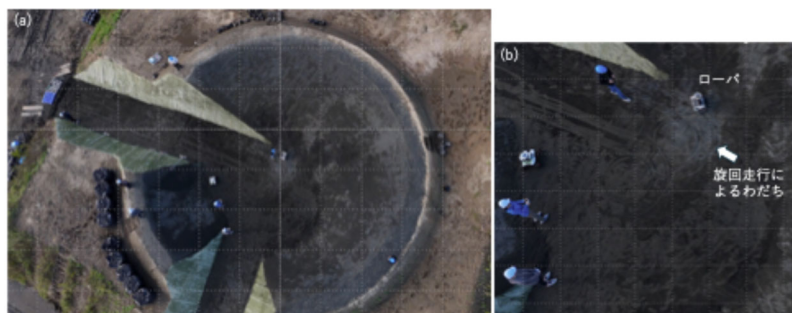
事業の中で実施する項目 1 から 3 のそれぞれに対して、評価指標（目標値）と成果を表および以下の文章にまとめる。いずれの実施項目においても、ミニマムサクセスとフルサクセスを達成しており、所期の目標を十分に達成できた。

- 1) 育成した人材像(どのような手法で育成状況を確認したのかについても記載してください。)

宇宙機の開発、特に月惑星探査の実現において必要となるハードウェア・ソフトウェア両面の技術について知見を有し、今後の月火星等表面におけるローバ探査において基本技術となる LIDAR データの仕組みやデータ取得、データの処理の各手法を理解・実施でき、また実空間とバーチャル空間の比較をもとにした宇宙機評価を行う経験を持つ人材を育成した。育成状況の確認には、福島ロボットテストフィールドにおける実空間およびバーチャル空間におけるデータ取得・処理演習を実施、それら成果を発表することで理解度、データ処理能力、実空間とバーチャルを用いた評価能力を評価した。

- 2) 育成を行った人数：会津大学学生 53 名、一般向けへのイベントも含めると 182 名が参加（本事業の参画者である大学教員を除く）

- 3) 開発した教育教材、教育プログラム数：11 個のプログラム。主な教材として座学用の資料に加えて、リアル箱庭にローバ評価用クレータ模擬地形を構築（右図参照）、



福島ロボットテストフィールド クレータ模擬地形（ドローンによる撮影画像）

実ローバの開発、バーチャル箱庭（シミュレータ）の開発、実習課題の設定（下図参照）を行なった。

4) アンケート結果：毎年、授業参加者に授業の改善点等ヒアリングを行い、次年度の実施や教材の改訂に役立てた。



実施項目	目標値	評価指標に対する成果
①リアル箱庭	R4a) ローバ模擬機 LIDAR+カメラによる自己位置データ取得 R4b) ローバ測定システム作成 R5a) ローバデモ機体の作成 R5b) 取得データをバーチャル箱庭に入力 R6) 表面摩擦変更と箱庭へのデータ反映	R4a) ローバ模擬機 LIDAR+カメラによる自己位置データ取得済み R4b) ローバ測定システム作成済み R5a) ローバデモ機体の作成済み R5b) 取得データバーチャル箱庭に入力済み R6) 表面摩擦変更と箱庭へのデータ反映済み フルサクセスに記述したローバの自己位置データ取得精度向上のためのノウハウを得た（ローバ走行速度、走行路表面荒さ、LIDAR スキャン速度の各パラメータ最適化により精度が向上する）。これを受講生に提供可能にした。よって中間報告資料中フルサクセスを実現した。
②バーチャル箱庭	R4a) ローバモデル物理パラメータ検討 R4b) バーチャル箱庭基幹部実装 ver. 02 月リリース R5) パラメータ追加、SLAM マッピング追加 R6) 摩擦変更、AI マッピング機能追加	R4a) ローバモデル物理パラメータ取り込み済み R4b) バーチャル箱庭基幹部実装 ver. 02 月リリース済み R5) パラメータ追加、SLAM マッピング追加済み R6) 摩擦変更、AI マッピング機能追加済み さらに、リアル・バーチャル箱庭を組み合わせた比較から、月火星ローバの開発を想定して評価すべき性能項目を提案し（重力と表面摩擦力の違いによる走行速度、登攀可能角度の違いを考慮する）、同項目を教育プログラムに反映した（実習の中でこれらを推定する課題として設定）。よって中間報告資料中フルサクセスを実現した。
③『月火星箱庭教育プログラム』	R4) プログラム構成、実習会、勉強会実施。計 2 項 30 名程度の参加	R4) プログラム構成、実習会、勉強会実施（計 3 項 34 名参加） R5) a) 授業 x2、b) 実習会、勉強会開催（計 3 項 71 名参加）

	<p>R5) a) 授業 x2、b) 実習会、勉強会開催（計 4 項 50 名程度の参加）</p> <p>R6) a) 授業 x2、b) 実習会、c) 箱庭ローバ 走行コンテスト開催（計 4 項 65 名程度の参加）</p>	<p>R6) a) 授業 x2、b) 実習会、c) 箱庭ローバ 走行コンテスト開催（計 5 項 77 名参加）</p> <p>のべ 10 項目 140 名程度の参加者とのミニマムサクセス目標設定に対して、結果としてのべ 11 項目 182 名の参加者が参加した。ミニマムサクセスに加えて参加者へのアンケートやヒアリングを行い、改善点をまとめて事業終了後の教育に活かしている。よって中間報告資料中フルサクセスを実現した。</p>
--	--	---

「短期アウトカム」（令和 7 年 10 月末時点）

知識としての理解度を評価するため、本事業参加前と参加後とで、惑星探査ローバ運用に必要な HW/SW リストの数（before/after の比較）による知識の可視化を実施し、本事業を通じた理解度の成長を評価することをアウトカムの実施方針としていた。指標は before/after の比較が 2 倍程度になること（学生の場合）と設定していた。これに対して、授業受講の before/after 比較を実施し、成果の定量的な評価を行なったところ、3 年間の平均で、必要な技術項目数として 3 から 5 倍程度の知見の蓄積が見られた。また実習成果の発表会及びレポートの作成を通じて、データ取得および解析技術の習得度合いを評価し、十分な習得が達成されていることを確認した。

波及効果の面では、本事業を通じて SLAM など解析や情報分野での宇宙教育に関する必要性が認知され、活発になることを目標に設定し、学会活動の一部としての活動等において本教育プログラムの利用を実現することで波及効果を評価することにしていた。実際、日本惑星科学会の探査育英会の活動の一部として勉強会、実習会を実施することができた。

その他、のべ人数で学部学生 18 名、大学院生 8 名がローバ搭載の LIDAR 取得データの解析手法など、探査に関連する研究テーマを選択することにつながっているほか、19 件の学会・講演会での発表（招待公演を含む）を行い、4 件の新聞掲載があった。

さらに、令和 7 年度に入って以降も現在までに複数の企業や学生のローバ開発チームより、我々の開発したクレータ地形を使ったローバの走行試験の実施希望が来ている。また、本事業と関連した研究テーマでの予算獲得にもつながっている。

これら成果から、当初のアウトカム目標を達成しているとともに、それ以上に関連する波及効果が得られていると考える。

(3) 今後の展望(長期アウトカム)

短期アウトカムの項でも記載したように、世界的に見ても特色のあるクレータ模擬地形（15度、30度傾斜の斜面を持ち、斜面走破性能の評価とともに、通信、地図作成等の評価を行うことができる、月に類似する表面抵抗の物質を利用している点が特徴）の認知度の向上を目指して活動を行ってきた（右図参照）。結果、認知度が上がるにつれてローバ開発を目指す企業や、学生チームからこの地形を使ったローバの走行試験希望が増加しつつあり、すでに一部評価実施済み。今後も関連分野において継続的なニーズが見込まれる。なお、海外の将来月探査に関するシンポジウムにおいて同施設について紹介したところ、利用を希望するような意見も聞かれた。これら活動を通じて、関連企業や学生との研究・交流を活発に行い、若手の人材育成に引き続き貢献するとともに、宇宙機の開発にも貢献することを想定している。それら継続的な貢献のために、会津大学では本事業終了後も引き続き「月火星箱庭構想」の発展に向けた組織的な活動を行うほか、福島ロボットテストフィールドと協力し、造成したクレータ地形の定常的な活用を目指した制度面での調整を実施中。人的体制に関しても、他大学との連携協定を新たに結んでおり、これらを通じて継続的な活動を行う。

資金面でも、福島県の産学連携宇宙研究開発支援事業費補助金に対して本事業につながる研究を応募して採択を受けている。そのほかにも関連する予算獲得もつながっていることから、それらを通じて継続的なアウトカムの創出を目指す。



福島ロボットテストフィールド クレータ模擬地形における企業向けの勉強会

8. 評価点

B

評価を以下の5段階評価とする。

- S) 優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献した。
- A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。
- B) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。
- C) 一部の成果を挙げているが、宇宙航空利用の明確な促進につながっていない。
- D) 成果はほとんど得られていない。

9. 評価理由

「箱庭」は宇宙探査においては人材育成やミッション実証の促進に有効なインフラになり得るため、本事業は目標としたリアル箱庭とバーチャル箱庭を開発し、月・火星探査に必要な

るハードウェア・ソフトウェアの双方に精通した情報科学系人材を育成したという点で優れている。アウトプットとアウトカムの混在があり、結果としてアウトカムに関しての提示が不足しているが、日本惑星科学会の探査育英会の活動の一部として勉強会、実習会を実施することができたことは評価できる。教育効果に関しても高く貢献した。さらに、組織/資金/人的体制の継続性に関する具体的な提示はないが、民間との連携も一定あり、資金獲得や今後の利用でも期待が持てる。

しかしながら、箱庭を作ったのは評価できるが、人材育成との関連に関する説明が少なく、計画した実施内容は一通り実施したとされているが、人材育成プログラムの観点からは箱庭システムの開発に偏りすぎていると思われる面もある。実際には Level3-4 への到達に課題が存在していると推察され、「ソフトウェア重視した育成プログラムがほとんどないことが課題」としているものの、ソフトウェア知識の醸成についての工夫と成果が不明確であるなど、人材育成プログラムとしての設計が不十分であった。当初からの懸念であった、リアル・バーチャル箱庭を開発する過程で目指す宇宙情報系人材どの程度育成できているかについては、結果として修士・学士論文、受講者、学会発表の数しか提示されておらず内容がよく分からなかった。定量評価を行っているようだったが、人材育成規模が不明であり、ハード・ソフトの知識が量3～5倍になっているなど、一部の数値目標・実施項目の達成状況が自己評価書から明確に読み取れない点があるので、リアル箱庭の成果であるとのエビデンスが明確ではない。知識を与える教育をしてはいるが、考えさせる能力を身につけさせているようには思えなかった。講義だけでも達成できる技術項目の認識数増では本事業の評価指標として不十分であり、問題解決能力等、単純な知識獲得以上の能力獲得を示す必要がある。

また、ヒアリングでは教育用なので不十分な面があるとのことで、箱庭システムについても実際の月や火星の環境（照明条件など）を再現できているか疑問が残る。開発成果（実機ローバのデータ入力、表面摩擦を変更、自己位置データ取得精度向上のためのノウハウ等）が断片的であり、技術的な評価だけでなく目的としている AI・デジタル化×宇宙の宇宙情報系人材育成の成果とも認識するのが困難であった。さらに、宇宙分野での我が国のプレゼンスの向上（国際的活動）に関する計画が不足している。

以上より、本課題は、リアル箱庭開発では相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果（目的とする箱庭を利用した宇宙情報系人材育成の効果についての評価）は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。

今後は、以下の点が期待される。

- 箱庭という場ができたので、今後は本来の目的である場を利用した宇宙情報系人材の育成に力を入れて、その具体的な成果をグローバルに発信すること。
- 教育効果の定量的評価の不足を解決するべく、継続してプログラムの高度化に取り組んで、国際的な活動も含めてアウトカム成果の創出につなげること。
- 今後の波及について特にバーチャルの部分は、着実に計画すること。
- 本事業で作製したインフラを活用して事業を継続すること。
- 資金を獲得して、テストフィールドの維持・改革を工夫すること。
- 宇宙関連企業との連携をすすめるため、高度な人材育成目標に到達するためのプログ

ラムの改善や、達成度を測る客観的な仕組みを具体化すること。

- 宇宙機関や民間の探査ミッションに対して付加価値を提供できるような実証企画、研究教育プログラムへ進化すること。
- 民間との連携加速すること。