



## ムーンショット目標3

2050年までに、AIとロボットの共進化により、自ら学習・行動し  
人と共生するロボットを実現

# 終了報告書

---

AI ロボットにより拓く新たな生命圏

---

**上野 宗孝**

宇宙航空研究開発機構 宇宙探査イノベーションハブ



## 1. 研究開発プロジェクトの実施概要

### (1) 研究開発プロジェクトの概要

有人宇宙探査の到達点は人類を含む生命体が地球からの従属性を振り切り、月・火星という極限環境において独立した生命圏を築く挑戦です。本プロジェクトは、この到達点をバックキャストした要素について AI ロボット技術を発展・活用させながら、スマート技術、行動変容技術等を有した拠点システムの構築に向けた研究開発を行い、2050 年には人類が長期的に活動可能な生命圏を実現します。

### (2) 研究開発プロジェクトの実施概要

インフレータブルモジュールの開発を進めるとともに、モジュール間の結合に関わるシステムの概念検討・概念設計を進め、それに必要な評価モデルの開発と評価を行った。システムソフトウェアのグランドデザインを行うとともに、データ収集システムの基本的なレベルでの開発を行った。本研究開発プロジェクトの内容を豊かなものに発展させる事を目指し、居住モジュールの二次元的な大規模拡張に向けた要素について検討するとともに、それに必要な結合時の自由度を高めるモジュールについての概念検討を行い、新たな研究開発要素を取り込む方向性を示すとともに、今後の研究の発展につながる成果を得た。令和 5 年度には、全体システムの共進化の実現に向けた、CPS システムを実現するための新たな研究課題を設置し、研究開発プロジェクト全体として柔構造物の高度・高精度な動作を実現に向けた枠組みの基本的な構成要素を実現できる体制とした。居住モジュールのデータ収集系と全体マネージメントシステムについても開発を進め、研究開発プロジェクトに新たな大きな要素を加える事で、当初の局所的な制御・把握システムから、全体規模でのサイバーフィジカルシステムを構築する検討を行い、新たな研究課題として、サイバー空間上におけるシミュレーションモデルの構築とデータ同化を含め、共進化を実現する計画へと発展させた。小型ロボットについては、スケールモデルを製作し、フルスケールモデルにおいて必要な要素の評価を行うとともに、スケールモデルでの協調動作を実現し、小型ロボット群により、インフレータブルモジュールの登坂を行う事を実現した。

### (3) プロジェクトマネージメントの実施概要

プロジェクト全体の進捗を管理・共有できる体制として、運営会議、拡大プロジェクト会議、プロジェクトマネージメント会議を設定し、プロマネ補佐や研究開発全体を補佐する研究サブマネージャーを設置し、研究開発プロジェクトを推進した。この中では、知財に関する戦略も議論するとともに、データマネージメントに関する議論と方向性の共有を行った。今後の研究開発の進捗の発展と拡大に対応できるよう、逐次的に体制を強化するとともに、PM所属組織の広報担当との連携を行う事で、今後の情報発信を円滑に行うための活動を行った。

## 2. 研究開発プロジェクトの実施内容

### (1) 研究開発項目1:AIロボティクスによる、自律的インフレータブル構造物の実現

研究開発課題1:状況に合わせて進化する Homeostatic Inflatable Decentralized Autonomous Structure (HIDAS)の実現

実施内容:Homeostatic Inflatable Decentralized Autonomous Structure (HIDAS)の機能検証モデルを開発した。また、小型ロボットによるCFRPの造形システムについては、小規模な造形を実現することで、基本動作の確認を行うとともに、大規模化が必要な実機の開発へ向けた課題の洗い出しを行った。Homeostatic Inflatable Decentralized Autonomous Structure (HIDAS:ハイダス)は、自律分散的なセルにより構成し、外界条件に応じた展開過程の制御や部分的な損傷に対する適応を実現するが、2023年度は、2022年度に開発したインフレータブルセルユニットを、20セット以上開発し、後述の小型自律分散制御ユニットと組み合わせて、HIDASの機能モデルを構築した。小型自律分散制御ユニットからの指令に基づき、インフレータブルセルユニットの膨張・収縮が適切にコントロールできることを確認した。2022年度に実施した造形システムの基本動作の検討に基づき、3Dプリンティングを実現する小型ロボットについて基本設計を行い、機能について評価を行った。

課題推進者:木村真一(東京理科大学)

研究開発課題2:複数のモジュールの相互結合により、段階的に拡張可能な結合システムの実現

実施内容:折り紙技術を活用した展開型の構造体を使用して、インフレータブル居住モジュールの拡張を可能とする技術の開発を行った。将来の月面での適用や社会実装の実現を目指し、小さなリソース(サイズ、重量)で運搬を可能することを目指した内容である。さらに、インフレータブル居住モジュールを相互に結合し、別の構造体との結合(ドッキング)の実現を目指し、結合部分に位置合わせ上の誤差(遊び)を許容する構造体も合わせて実現する事において重要であることから、展開構造体の技術を活用し、フレキシビリティを持つドッキングポートの研究開発を行った。

課題推進者:上野宗孝(宇宙航空研究開発機構)

研究開発課題3:インフレータブル構造物のロボット化とシミュレーション基盤の構築

実施内容:ロボットの機能を付加することによりインフレータブル構造物の自律性向上に向

けた研究開発として、下記を行った。

- ・駆動機能を実現するインフレータブル要素モジュールの試作・検証  
多様な形状のインフレータブルモジュールの製造方法として、レーザ照射によるフィルムの高融着を用いる手法を構築し、試作機を製作した。樹脂シートからの立体的な構造体の構築や、照射パターンの変化による駆動機能の生成、長さの異なるシート状モジュールの組み合わせによる曲げ動作の実現など、試作機の性能評価を行った。

- ・インフレータブルモジュールの単体モックアップ (WinBag) について流体制御モデルを構築した。各モジュールの膨張・収縮などを制御し、4つのモジュールを組み合わせた駆動ブロックの端点の変位ならびに姿勢変化を流体制御によって実現し、インフレータブルモジュールの組み合わせにより任意動作を実現する可能性を示した。

- ・CPS 構築に向けたプラットフォーム検討を行い、Nvidia Omniverse をベースとして物理シミュレーションに PhysX を用いるシステム構築を行った。また、離散要素法を用いたインフレータブルモジュールのシミュレーションモデルを構築した。

- ・インフレータブルモジュールの単体モックアップ (WinBag) について、膨張・収縮時の形状ならびに圧力の計測を行い、計測データを用いてシミュレーションモデルのパラメータ学習を行うデータ同化を、離散要素法のシミュレーションモデルに対して行い、実物に近い挙動を実現した。

- ・複数のモジュールからなる1/2 サイズの居住構造物 (HIDAS) のシミュレーションモデルを構築し、手動の圧力調整のもと、萎んだ状態からの展開シミュレーションを実現した。計測データを可視化する機能を実装し、モジュール数の変更など運用例につながる検証を進めた。

- ・粒子法を用いてレゴリスのシミュレーションも行い、モデルパラメータの調整による挙動再現の可能性を示した。

課題推進者: 山野辺夏樹 (産業技術総合研究所)

## (2) 研究開発項目 2: (レジリエントな居住モジュールシステムの実現)

研究開発課題 1: データ収集システムと CPS マネージメントシステムの構築

実施内容: 本研究開発プロジェクトの全体統括を行う、統括システムの構築を目指し、多様

な要素からなる全体システムのサイバーフィジカルシステム (CPS) を形成可能なマネージメントシステムの開発を進めた。サイバーフィジカルシステムに必要な居住モジュール内部・外部のデータを網羅的に取得するとともに、各ロボットからの情報の取りまとめを行い、シミュレータへのモデル同化に必要なインプット情報とするとともに、サイバー空間で最適化された動作目標に対して、実際の駆動情報の形で動作を進めるシステムの構築に向けた活動を行った。

課題推進者: 上野宗孝 (宇宙航空研究開発機構)

研究開発課題3: 小型ロボット群の構築による、自律的な情報収集と、居住モジュール開発支援・自己修復に必要な、自律分散ロボットシステムの構築

実施内容: AI ロボットにより拓く新たな生命圏の構築に向けて、本研究では月面における住居モジュール周辺の自律的な情報収集、住居モジュールの開発開発支援、住居モジュールの修復に必要な自立分散小型ロボット群の構築に関わる研究開発を行った。特に令和 5 年度には、開発期間を短縮可能な縮小サイズ 1/2 モデルの開発を行い、協調動作を達成した。また、1/1 のモックアップモデルの開発を行い、今後の課題や改善点を明確にした。さらに、月面の課題である軟弱地盤を形成するレゴリス上での走行・移動の研究開発を行い評価した。

課題推進者: 渡辺公貴 (同志社大学)

### 3. プロジェクトマネジメント実施内容

#### (1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

##### 進捗状況の把握

プロジェクトの進捗状況の把握する為に以下の方策を実施した。

- ・代表機関の PM 支援体制チームの構築
  - ・プロマネ補佐、研究進捗マネージャー
  - ・プロジェクト内連絡担当者
- ・研究開発プロジェクト内に以下を設置
  - ・拡大プロジェクトマネジメント組織 (PM、PI 等)
- ・重要事項の連絡・調整の方法 (運営会議の設置)
  - ・拡大プロジェクトマネジメント会合 (運営会議と同時開催)
  - ・オンラインによるスケジュール・情報・会合日程調整等

##### 研究開発プロジェクトの展開

・研究開発の進展や、広く世界的な研究進捗状況も適宜把握しながら、新たな研究者の参画と新たな課題の設定を行った。新しく設定した研究課題を令和5年度より設置し、全体の研究項目に大きな厚みを持たせる事ができた。

・定期的な報告会において、進捗把握を継続的に行いつつ、必要に応じて、進捗アドバイスをを行うとともに、個々の課題研究の状況に対して厳しい客観性を持って進めた。

## (2) 研究成果の展開

ムーンショット型研究制度の同一目標(目標 3)内での知見の共有と研究の発展に向けた議論を行うとともに、外部有識者との情報交換の会合も定期的を開催し、研究を発展させる新たなアイデアやアプローチを取り込む形で、研究開発プロジェクトを推進した。さらに、海外研究会などにおいても積極的な議論を行う機会を準備し、知見の拡大と新規性の追求に努めた。

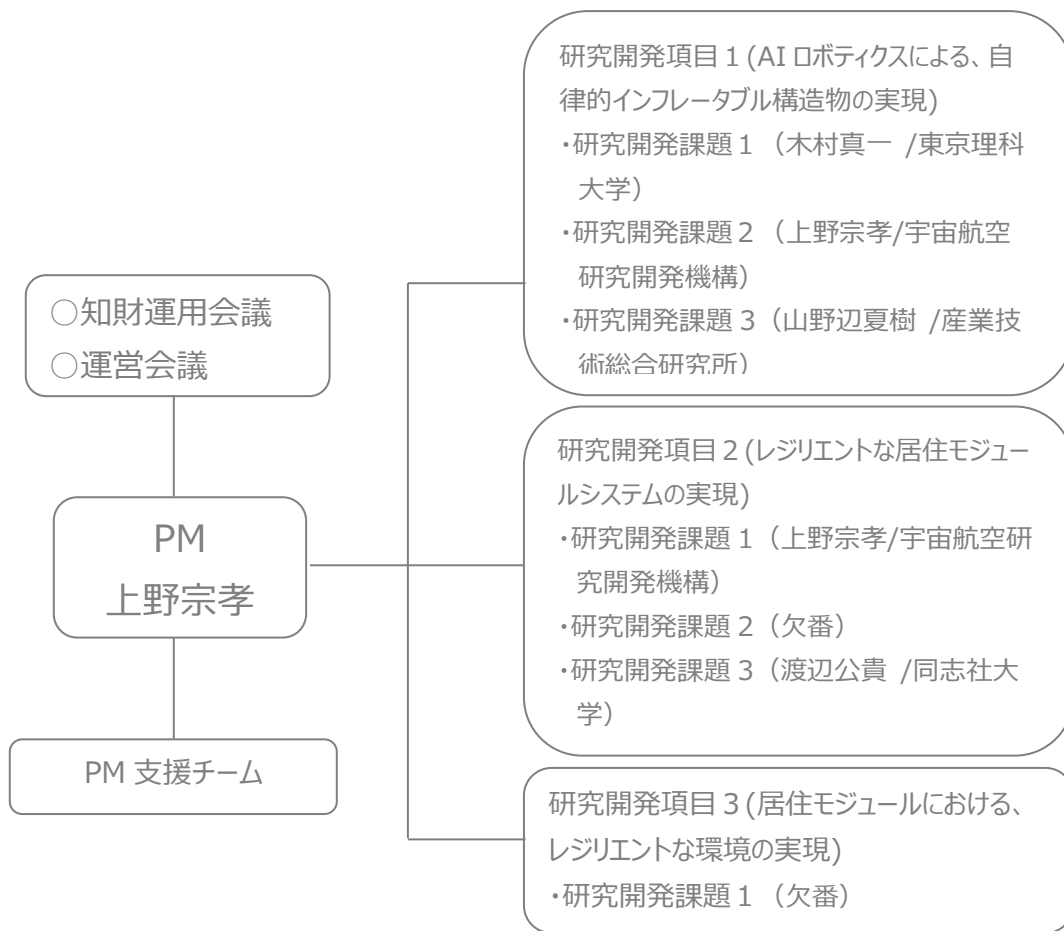
## (3) 広報、アウトリーチ

PM所属組織の広報担当とも意識を共有し、プロジェクトの発足などについて、本研究開発プロジェクトの Web page で情報公開するとともに、情報発信においては、JAXA 宇宙探査イノベーションハブの広報担当チームを、プロジェクトマネジメントチームに取り込む形で、各種集会などにおける情報発信を行った。効果的な情報発信を行うために、リーフレット・パンフレットの作成を行い、発信の支援を行った。

## (4) データマネジメントに関する取り組み

基本的に政府の各データマネジメントに関わるガイドラインを基本として研究開発プロジェクト内で方針を共有した。

#### 4. 研究開発プロジェクト推進体制図



##### 知財運用会議 構成機関と実施内容

- ・PM、PM 補佐、研究開発サブマネ、各 PI
- ・本研究における知財戦略の活性化について議論を行った

##### 運営会議 実施内容

- ・プロジェクト内の目標・マイルストーンの相互共有、相互の研究開発範囲の位置づけを適宜共有
- ・研究進捗状況の把握と共有
- ・各 PI の活動における、課題の共有と、知見の集積による解決に向けた議論

## 5. 研究開発プロジェクト成果

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際 (PCT 含む)	国内	国際
未登録件数	0	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計 (出願件数)	0	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	1	2	3
口頭発表	2	3	5
ポスター発表	0	0	0
合計	3	5	8

原著論文数 (※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	2	2
(うち、査読有)	0	2	2

その他著作物数 (総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	0	0	0
書籍	0	0	0
その他	0	0	0
合計	0	0	0

受賞件数		
国内	国際	総数
0	0	0

プレスリリース件数
0

報道件数
3

ワークショップ等、アウトリーチ件数
2